This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

B 466322 DUPL

Pfitzner-Urtel

Der Automobilmotor

Automobiltechnische Bibliothek. Bd. I.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

TL
205
.P53

Automobiltechnische Bibliothek, Bd. I.

Pfitzner-Urfel, Der Automobilmotor.

Digitized by Google

Automobiltechnische Bibliothek

Die Automobiltechnik in Einzeldarstellungen

Bd. I. Pfitzner-Urtel, Der Automobilmotor und seine Konstruktion.

Bd. II. W. A. Th. Müller, Der Automobil-Zug.

Berlin W.
Verlag von M. Krayn

Digitized by Google

Der Automobilmotor

und seine Konstruktion

Von

W. Pfitzner

weil. Dipl.-Ing.

Herausgegeben und bearbeitet

von

R. Urtel, Dipl.-Ing.

Mit 84 Textfiguren

Berlin W.

Verlag von M. Krayn

1907

Digitized by Google

Published May 1te 1907.

Privilege of copyright in the United States reserved under the Act approved March 3rd 1905 by M. Krayn, Berlin.

Rosenthal & Co., Berlin SO., Rungestr. 20.

Digitized by Google

INHALT

Seite

Vorbemerkungen 9

I. **Überblick über die Entwickelung des Automobilbaues** 11

II. **Leitende Gesichtspunkte für die Konstruktion** 17

Erschütterungen und Deformationen 17

Gewicht 20

Betrieb und Bedienung 22

Einfachheit 25

Reparaturmöglichkeit 25

Massenfabrikation 26

III. **Die Materialien** 30

IV. **Konstruktive Ausbildung des Motors** 36

Wahl der Hauptabmessungen
Gewicht – Preis – Dynamische Verhältnisse 36

Anordnung der Zylinder. Lagerung der Kurbelwelle . . . 53

Triebwerk 61

Schmierung 63

Gestaltung des Zylinders
Ventilanordnungen – Ventile – Zylinderkopf – Kühlung – Gusstechnik 66

Armaturen 100

Steuerung
Steuerungsgestänge – Zahl und Lage der Steuerwellen – Antrieb und Hilfsapparate 102

Rohrleitungen
Gasleitungen – Wasserrohre – Kleinere Hilfsleitungen . . 126

Kurbelgehäuse 136

Blockkonstruktionen 149

Anhang: **Massenkräfte und -Momente der Automobilmotoren in graphischer Darstellung** 159

259383

Digitized by Google

Digitized by Google

Als der Unterzeichnete es übernahm, das nachgelassene Werk seines Freundes Willy Pfitzner herauszugeben, hatte er dabei hauptsächlich den Wunsch, den Mitarbeitern unserer jungen hoffnungsvollen Industrie eine kritische Arbeit des Verstorbenen zugänglich zu machen, die den Versuch unternimmt, die wesentlichen wirtschaftlichen und konstruktiven Gesichtspunkte aus der Fülle des in der Literatur und der Praxis dargebotenen Materiales herauszuschälen. Bei der verhältnismässig kurzen Zeit der Entwickelung, die der Motorwagenbau bisher zurückgelegt hat, ist es dabei natürlich unmöglich, eine einigermassen objektive Darstellung der in Frage kommenden Grundlagen zu geben. Dem Verfasser würde es völlig genügt haben, wenn seine Arbeit dazu beigetragen hätte, die Anschauungen über die Grundzüge der Konstruktion des Automobilmotors zu klären und damit die schwere Arbeit des Konstrukteurs zu erleichtern und zu vertiefen.

Berlin-Friedenau, März 1907.

R. URTEL.

Digitized by Google

Digitized by Google

Vorbemerkungen.

Die nachfolgenden Betrachtungen sind aus einer Reihe kleinerer Aufsätze des Verfassers hervorgegangen, die unter dem Titel: „Die Ventilanordnung am stehenden Automobilmotor" in der Zeitschrift „Der Motorwagen" erschienen sind. Es ist darin nur der Explosionsmotor in Betracht gezogen worden, weil er bisher den Motorwagenbau beherrschte und nur bei ihm von einer bestimmten Entwickelung in dieser Hinsicht gesprochen werden kann. Keine Konstruktionsvorschriften sollen die folgenden Ausführungen geben, oder gar ein Lehrbuch, nach dem ein Automobilmotor konstruiert werden könnte, sondern Beobachtungen und Untersuchungen, die der Verfasser während seiner Tätigkeit auf diesem Gebiete angestellt hat. Wer die Entwickelung des Automobilbaues verfolgt, wird bestätigen, dass die Mehrzahl aller auftauchenden Konstruktionen kritiklose Nachahmungen sind; das „allgemein anerkannte Vorbild", die „Autorität auf dem Gebiete des Automobilbaues" sind allein bestimmend gewesen bei der Konstruktion. Obendrein ist fast alles einer Mode unterworfen, die alljährlich von einem Zentralpunkt angegeben wird und sich mit einer gewissen Geschwindigkeit wie eine Kugelwelle über alle beteiligten Kreise fortpflanzt. Verfolgt man die Entwickelung eines bestimmten Fabrikates, so kann man oft die Beobachtung machen, dass Änderungen und Neuerungen unter dem Drucke eines zufälligen Ereignisses entstehen, das plötzlich einen ungebührenden Einfluss auf die Fabrikation bekommt. Es fehlen sehr häufig die allgemeinen, höheren Gesichtspunkte, die für die Konstruktion massgebend sein sollten. Freilich sind diese nicht immer leicht zu finden, und es ist erst eine gewisse Zeit der Entwickelung nötig, ehe man zu einer klaren Erkenntnis der leitenden Konstruktionsgrundlagen gelangen kann.

Einige von solchen allgemeinen Gesichtspunkten bilden die Unterlagen für die folgenden Betrachtungen; es wurde vor allem

Digitized by Google

versucht, den einheitlichen Aufbau der Maschine als notwendige Grundlage der ganzen Konstruktion klarzustellen. In zweiter Linie kommen wirtschaftliche Fragen, die Billigkeit der Maschine, die Massenfabrikation. Dabei ergeben sich gewisse Vorzüge des Vielzylindermotors und des hängenden Ventils, doch sollen sie ebenso wenig wie die in mancher Hinsicht bestechenden Blockkonstruktionen als das allgemein richtige hingestellt werden. Trotzdem grösste Unparteilichkeit bei der Kritik der einzelnen Konstruktionen angestrebt wurde, ist natürlich eine gewisse Subjektivität nicht zu vermeiden.

Die Betrachtungen sind im wesentlichen konstruktiver Natur, als solche können sie keinen Anspruch auf allgemeine Anerkennung machen. Sie sollen nur die Kritik und das Interesse der Konstrukteure anregen, denn über kurz oder lang werden sie natürlich von der rasch fortschreitenden Entwickelung überholt.

Die im Anhang gegebene Entwickelung des Massenausgleichs bringt mechanisch natürlich nichts Neues, doch schien eine derartige Darstellung geeignet das Verständnis und die unmittelbare Anschauung dieser wichtigen Probleme etwas zu erleichtern, die bei der üblichen analytischen Betrachtungsweise nur schwer zu gewinnen sind.

Digitized by Google

Ueberblick über die Entwickelung des Automobilbaues.

Nach einer verhältnissmässig kurzen Zeit des Probierens und Erfindens hat sich in dem heutigen Benzinautomobil ein Fahrzeug herausgebildet, das im allgemeinen den Bedingungen der praktischen Brauchbarkeit entspricht. Es hat sich in etwa fünfzehnjähriger Entwickelung, haupsächlich jedoch in den letzten acht Jahren, aus allen den verschiedenen Ideen und Versuchen ein fast allgemein als richtig anerkannter Normaltypus entwickelt, der in bezug auf die Gesamtanordnung der einzelnen maschinellen Einrichtungen wohl kaum umgestossen werden dürfte. Schon aus dem Verhalten aller Firmen, von denen beinahe jede ursprünglich ihre eigene Spezialkonstruktion besass, die aber schliesslich doch, manchmal mit grossen Opfern, auch zu diesem Normaltyp übergegangen sind, lässt sich annehmen, dass das im allgemeinen Richtige gefunden worden ist. So lange nicht ein leichter elektrischer Akkumulator von grosser Kapazität erfunden wird, muss der kleine, schnell laufende Explosionsmotor im wesentlichen das Feld behaupten, vermöge seiner dem Gewicht nach günstigsten Leistungen, und mit ihm müssen alle die speziellen Hilfsmittel an dem Fahrzeuge bestehen bleiben, die bestimmt sind, die diesem Motor anhaftenden unbequemen Eigenschaften für die besonderen Bedingungen des Fahrzeugbetriebes auf gewöhnlichen Strassen zu verbessern oder umzugestalten.

Es wird wohl für eine geraume Zeit noch die jetzige Anordnung der maschinellen Einrichtung an den Motorwagen bestehen bleiben. Ob vielleicht an Stelle der Viertaktmotoren Zweitaktmotoren treten werden, ob die Maschinen vier- oder sechszylindrig ausgeführt werden, ob an Stelle der Zahnräder-Kraftübertragung eine andere Transmission treten wird, kann alles an dem gesamten Aufbau nicht viel ändern, der als die Folge der praktischen, der sehr harten Betriebsbedingungen zu betrachten ist. Diese allgemeine Anordnung charakterisiert sich bei allen Motorwagen bereits in der äusseren Erscheinung. Vorn befindet sich der stehend angeordnete

Digitized by Google

Explosionsmotor mit allen Hilfsapparaten und Nebeneinrichtungen, unter dem Wagen liegen die Apparate zur Veränderung des Drehmomentes, an der Hinteraxe des Wagens befindet sich der Antrieb.

Die allgemeine Aufgabe, ein Fahrzeug mit motorischer Kraft auf gewöhnlichen Strassen zu bewegen, ist gelöst; sie hat neben der speziellen Ausbildung des Motors für den vorliegenden Zweck noch die beiden weiteren maschinentechnischen Nebenaufgaben ergeben:

1. eine Einrichtung zu schaffen, die das wenig veränderliche Drehmoment des Explosionsmotors bei voller Leistung in dem erforderlichen Masse, d. h. auf das vier bis fünffache zu erhöhen gestattet;

2. eine im Raum nach jeder Richtung beliebig bewegliche Axe anzutreiben unter Ermöglichung einer relativen Drehung beider Laufräder zu einander.

Auch für diese Aufgaben sind die Lösungen im wesentlichen festgelegt; man hat erkannt, welche Wege hier am schnellsten zum Ziel führen. Ebenso sind für die wagentechnischen Einzelheiten zweckentsprechende Formen gefunden, die Lenkung, die Achsen, Federn, Rahmen usw. passen sich immer mehr den besonderen Bedingungen an.

So hat sich aus den vielseitigen Formen der Anfangsperiode allmählich der jetzige Normaltypus gebildet, der dem modernen Wagen ein charakteristisches Aussehen verleiht. Die drei erwähnten Aufgaben haben drei Gruppen maschineller Einrichtungen ergeben: den Motor, das Wechselgetriebe und den Achsantrieb mit Differentialgetriebe. Als Grundlage für den gesamten Aufbau dient ein Rahmen aus Stahlblech oder Profileisen, der durch Vermittelung der Federn von der Achse getragen wird. Auf diesem sitzt vorn der Explosionsmotor von stehender Bauart, meist mehrzylindrig, mit der Wellenachse in der Längsrichtung des Wagens. An den Motor schliesst sich achsial das Wechselgetriebe an, in der Regel ein Stirnrädergetriebe, dessen verschiedene Übersetzungen durch seitliches Ineinanderschieben der einzelnen Räderpaare gebildet werden. Danach folgt der Achsantrieb entweder mit Kette, wobei ein Differentialgetriebe die beiden Kettentriebräder verbindet, oder mit einer Gelenkwelle, die das Wechselgetriebe mit der gehäuseartig ausgebildeten Triebachse verbindet, in der sich das stets notwendige Kegelräderpaar und das Differentialgetriebe befinden. Auf diese Weise ergibt sich, dass nur die hinteren Räder als Triebräder benutzt werden können.

Digitized by Google

Soweit ist der Aufbau der ganzen Anordnung verhältnismässig einfach und klar. Der vornstehende Motor gestattet eine leichte Kontrolle, da er vom Wagenkasten nicht überdeckt wird. Nach Wegnahme der Schutzhaube steht er frei in passender Höhe da, von allen Seiten zugänglich. Die anderen Teile liegen mehr versteckt unter dem Wagenkasten, brauchen indess nicht eine so häufige Wartung wie der Motor, so dass diese weniger zugängliche Lage nicht hinderlich ist. Durch besondere Konstruktionen hat man namentlich die Schmierung dieser Teile so vereinfacht, dass es genügt, wenn sie alle drei bis vier Monate oder noch seltener nachgesehen wird.

Mit diesen einfachen Hauptteilen ist indessen die maschinentechnische Einrichtung des Motorwagens nicht erschöpft. Es kommt eine grosse Reihe von Hilfsapparaten und Nebeneinrichtungen in Frage, die in ihrer Gesamtheit den Wagen leider sehr komplizieren und teurer machen. Mit den Komplikationen wächst natürlich auch die Betriebsunsicherheit, es steigen damit die Anforderungen an die Bedienung, es wächst vor allem der Herstellungs- und Verkaufspreis des Wagens. Dieser Summe von Kleinigkeiten ist die langsame Verbreitung des überall als notwendig empfundenen mechanischen Fahrzeugbetriebes zuzuschreiben. Was hierbei alles in Frage kommt, zeigen schon die Hilfseinrichtungen des Motors allein: Luftansaugeleitung mit Wärmevorrichtung, Vergaser, Gasleitung nach dem Motor, Schalldämpfer für die Auspuffgase, Kühlwasser für die Kühlung der Zylinder, Rückkühlapparat für das erhitzte Kühlwasser, Ventilationseinrichtung zur Erzeugung des notwendigen Kühlwindes für den Kühlapparat, Dynamomaschine oder andere Stromquelle zur Erzeugung der Zündfunken, Reguliervorrichtungen für den Zündzeitpunkt, für die Gasmenge und für die Zusammensetzung des Gas- und Luftgemisches, Ölleitungen und automatischer Schmierapparat. Das alles gehört allein zum Motor. In ähnlicher Weise verlangt das Wechselgetriebe, die Lenkvorrichtung usw. eine Reihe weiterer Einrichtungen, die mit ihrer gegenseitigen Abhängigkeit, mit Verriegelungen und Sicherungen ein Heer von Zügen und Schaltapparaten notwendig machen. Diese Mannigfaltigkeit ist es, die eine gewisse Betriebsunsicherheit mit sich bringt. Jede von den vielen Kleinigkeiten muss stets in Ordnung sein. Versagt nur eine, dann ist unter Umständen das ganze Fahrzeug lahmgelegt. Es muss deshalb auf die Ausbildung aller dieser Nebenteile sehr grosses Gewicht gelegt werden; sie müssen sorgfältig und gewissenhaft hergestellt sein, wenn sie ihren Zweck richtig erfüllen sollen. Das Fahrzeug ist ein Ab-

Digitized by Google

bild im kleinen einer ausgedehnten Maschinenanlage — mit Gas- und Wasserleitungen, elektrischen Anlagen, womöglich noch mit Transformatoren und Hochspannung, das alles auf den kleinsten Raum zusammengedrängt; dabei muss es in der Konstruktion so leicht als nur irgend möglich sein. Es ist kein Wunder, wenn der Preis für den einzelnen Wagen recht hoch wird. Hauptsächlich als Luxusfahrzeug hat bisher das Automobil allgemeine Verbreitung gefunden, und trotzdem hat die Industrie einen grossen Gewinn noch nicht davon gehabt. Wenn auch moderne schnellfahrende Wagen in Sportkreisen mit grossen Summen bezahlt werden, so ist damit doch nicht auf die Dauer zu rechnen und die Zahl der Käufer derartig teurer Wagen ist verhältnismässig gering. Für den Gebrauchs- und Nutzwagen kommt in erster Linie die Rentabilität in Frage. Das Bedürfnis nach Ersatz des Pferdebetriebes durch leistungsfähigere, schnellere und ausdauerndere Fahrzeuge liegt überall vor.

Die Industrie muss aber auf die Herstellung von eigentlichen Nutzwagen bedacht sein; das erst ist das Feld, auf dem sie wirken kann und das ihr einen dauernden Absatz sichern wird. Das Bedürfnis nach solchen Wagen ist bereits in hohem Masse überall vorhanden; aber sehr häufig kommt es nicht zum Geschäft, und in den meisten Fällen ist Hinderungsgrund die mangelnde Rentabilität. Die angestellten Rechnungen sind fast typisch und zeigen alle das gleiche Resultat: Die konstanten Unkosten, Verzinsung und Tilgung, erfordern bei den hohen Anschaffungskosten der Wagen derartige Beträge, dass hierdurch von vornherein die Belastung grösser ist, als durch den Benzinverbrauch.

Meist kann der Motorlastwagen nicht den ganzen Tag ausgenutzt werden, er muss beladen und entladen werden — er wird auch oft leer zurückfahren müssen —, daher sind die Brennstoffkosten trotz des an sich hohen Einheitspreises für Benzin oder Spiritus für die Rentabilität nicht ausschlaggebend. Der Automobil-Lastwagenbetrieb kann zurzeit nur mit Nutzen aufgenommen werden, wo ein regelmässiger, nicht gar zu kleiner Güterverkehr ohne längere Unterbrechung zu bewältigen ist. Desgleichen kommt er in Frage, wo es in einem Betriebe auf schnelle Beförderung ankommt, wie z. B. bei Warenhäusern und Brauereien. Häufig jedoch ist der zu leistende Verkehr auf eine bestimmte Jahreszeit beschränkt — Zuckerrübentransporte, überhaupt landwirtschaftlicher Betrieb — oder er ist ein ununterbrochener, aber mässiger und mit vielen kleinen Pausen verknüpfter Speditionsverkehr. Für diesen Betrieb wird aber nur dann die Anschaffung

Digitized by Google

des Automobils lohnen, wenn die eigentlichen Betriebskosten die Hauptsache ausmachen, wenn die konstanten Unkosten zurücktreten und nicht schon das blosse Vorhandensein des Wagens jährlich Tausende verschlingt.

Wenn die Entwickelung rascher fortschreiten soll, wenn die Automobilindustrie sich zu dem entwickeln soll, was sie in sich trägt und was sie auch erreichen wird, dann muss sie vor allen Dingen danach trachten, preiswerte Fahrzeuge zu schaffen, die es auch dem kleineren Unternehmer ermöglichen, sich die Vorteile des motorischen Betriebs zu nutze zu machen. Das gilt in gleicher Weise für Last- und Personenfahrzeuge, denn auch für diese wird der Gebrauchswert mehr und mehr gegenüber dem sportlichen Wert in den Vordergrund treten.

Der Automobilbau steht vor der Aufgabe, seine Fabrikation und seine Konstruktionen derart durchzubilden, dass er betriebsichere, dauerhafte, dabei billigere Fahrzeuge liefert. Zu erfinden ist dabei wenig, aber sehr viel durchzuarbeiten und zu verbessern, deshalb ist nicht eine neue Methode und Theorie, sondern gewissenhafte, vertiefte konstruktive Tätigkeit erforderlich. Es kann sich nur darum handeln, die in ihren Umrissen und Hauptanordnungen gegebenen Apparate im einzelnen weiterzubilden, mit Rücksicht auf die speziellen Bedingungen, die der Fahrzeugbetrieb mit sich bringt, mit Rücksicht aber auch auf die allgemein gültigen Gesichtspunkte der modernen Fabrikation. Es ist dies keine leichte Arbeit, in anbetracht der ausserordentlich zahlreichen und verschiedenartigen Bedingungen, die vorliegen, und sie ist äusserlich verhältnismässig unscheinbar; ja, das Resultat ist desto unscheinbarer und einfacher, je gründlicher die Arbeit war. Der fertigen Form kann man nie ansehen, welche Mühe zu ihrer Entstehung aufgewendet wurde. Zudem ist die Beurteilung der entstehenden und geschaffenen Form oft sehr schwer. Stets spielt hierbei der persönliche Geschmack und zufällige Einzelerfahrungen eine grosse Rolle, das endgültige Urteil jedoch gibt immer erst die praktische Durchführung und die Erprobung im Betriebe.

Es liegen zur Zeit bereits eine sehr grosse Menge guter und

Digitized by Google

erprobter Konstruktionen vor. Noch aber sind die meisten nicht zu der Einfachheit und Güte durchgebildet, die für eine wirklich rationelle Fabrikation erforderlich ist. „Vereinfachen und durch Massenherstellung verbilligen" muss als Hauptziel allen Konstrukteuren vorschweben, dabei muss aber immer mit den speziellen Anforderungen gerechnet werden durch sorgfältiges Studium des Betriebes und der Fabrikation.

Es würde durchaus keinen Wert haben, zur Zeit auf die theoretischen Grundlagen der Maschine das Hauptgewicht zu legen; es würde z. B. vollständig verkehrt sein, wenn man aus Rücksicht auf den mechanischen oder thermischen Wirkungsgrad des Motors besondere Feinheiten anbringen würde, die eine Komplikation mit sich brächten. Selbstverständlich sollen die theoretischen Erwägungen nicht beiseite gelassen werden und mit der Zeit werden auch sie wieder mehr in den Vordergrund treten, aber vor der Hand wäre es durchaus falsch, wenn man ihnen zu Liebe die Einfachheit aufgeben würde. An der Entwickelung der Lokomotive zeigt sich im Grossen, dass nur das Einfache bei den Fahrzeug-Maschinen von Bestand ist. Die Lokomotiv-Maschine ist eine verhältnismässig schlechte und sehr einfache Dampfmaschine, aber trotzdem für ihren speziellen Zweck die einzig richtige. Alle Verbesserungen durch Doppelschieber, Hahn- und Ventilsteuerungen sind fast ganz wieder verschwunden; nur sehr langsam hat sich das Verbundsystem Verbreitung verschaffen können und an die Dampfüberhitzung ist man überall mit Zagen herangegangen. Die fortschreitende Entwickelung hat natürlich auch hier mit der Zeit vieles möglich gemacht und in ähnlicher Weise wird es auch bei den kleinen, schnelllaufenden Gasmaschinen des Motorwagens der Fall sein. Zunächst aber muss als erster und oberster Grundsatz beim Entwurf des Automobils die Mahnung stehen bleiben, je einfacher desto besser, und damit auch um so billiger.

Auf diesem Wege ist das Ziel der Verbilligung der Motorwagen zu erstreben. Als Grundlage bleibt stets das Studium der Anforderungen und Bedingungen des Betriebes, und die genaue Erkenntnis dieser Bedingungen wird notwendig sein, um überhaupt zweckmässige Konstruktionen zu schaffen. Sodann aber muss die Ausbildung der Fabrikation kommen, die der vom Konstrukteur geschaffenen Einfachheit zur höchsten Billigkeit verhilft.

Digitized by Google

II. Leitende Gesichtspunkte für die Konstruktion.

Die eigenartige Betriebsweise der schienenlosen Fahrzeuge bringt es mit sich, dass ausser den im allgemeinen geltenden Konstruktionsregeln für die ortfesten Maschinen noch eine Reihe weiterer sehr wesentlicher Bedingungen in Frage kommen, die das sorgfältigste Studium erfordern und zum Teil den sonst vorliegenden Bedingungen geradezu widersprechen. Der Konstrukteur muss gewissenhaft die Vorteile und die unvermeidlichen Nachteile gegeneinander abwägen und so durch richtiges Nachgeben, durch Kompromisse allmählich dem Ziel näher zu kommen suchen. Die besonderen Bedingungen sind teils in der Art des Betriebes zu suchen, teils entstehen sie durch die kleine Ausführung aller Teile, von wesentlichem Einfluss ist auch die stets mangelhafte Bedienung. Danach erst kommen die Rücksichten auf die gegenseitige Abhängigkeit der einzelnen Teile u. s. w.

Leider ist über diese sehr wichtigen Punkte in der Fachliteratur sehr wenig zu finden. Eine jede Fabrik ist gezwungen, ihre Erfahrungen mühsam und teuer selbst zu erkaufen, und wenn sie so weit ist, dass eine brauchbare Konstruktion vorliegt, dann behält sie natürlich alles für sich. Auch von Seiten der Käufer und Fahrer ist in dieser Beziehung für die Fortbildung der Konstruktion nicht viel zu erwarten, da diese sich in den meisten Fällen wenig darum kümmern, wie und warum ein Versagen ihrer Maschine eintritt.

Erschütterungen und Deformationen.

Was den Fahrzeugmotor in erster Linie von der ortfesten Maschine unterscheidet, ist der Mangel der festen Aufstellung, der Mangel des Fundaments. Der Motor, wie alle anderen Teile der Maschine, ist auf einem leichten, nicht als steif zu betrachtenden

Digitized by Google

Rahmen aus Stahlrohr oder Stahlblech, mitunter sogar aus armiertem Holz, gelagert, und dieser leichte Rahmen ruht seinerseits auf den Federn des Fahrzeugs, ist also in jeder Weise als nachgiebig zu betrachten.

Alle von aussen einwirkenden Kräfte, seien es Stösse der Räder oder freie Kräfte der Maschine oder Belastungen durch Nutzlast, führen zu einer sichtbaren und fühlbaren Bewegung des Rahmes und versetzen ihn eventuell in Schwingungen. Die von der Maschine herrührenden Wirkungen sind im allgemeinen schnell wechselnde Kräfte, entsprechend den hohen Tourenzahlen, herrührend von schwingenden Massen und von den mitunter sehr schwankenden Drehmomenten. Diese Erschütterungen, denen der Rahmen nicht vollständig folgen kann, können an einzelnen angesetzten Teilen, wie zum Beispiel Schutzblechen, Steuersäulen, Laternen, Resonanzerscheinungen hervorrufen. Wenn die Eigenschwingungen solcher Teile nur einigermassen mit den Maschinenumdrehungen übereinstimmen, entstehen oft derartige Vibrationen, dass Brüche eintreten, mindestens aber alle Befestigungen in kurzer Zeit gelockert werden. Bei belastetem Fahrzeug ist die Wirkung nicht so stark als bei unbelastetem, weil die zu beschleunigenden Massen grösser sind. Je geringer die im Motor schwingenden Massen sind und je schneller die Schwingungen stattfinden, desto weniger wird das Fahrzeug ihnen folgen können und desto weniger wird das Fahrpersonal darunter leiden.

Die Erschütterungen durch den Motor müssen jedenfalls möglichst klein gehalten werden. Es ist nur erforderlich ein leidlicher Massenausgleich der Maschine und ein einigermassen gleichförmiges Drehmoment. Hierfür sind die Grundlagen gegeben, und es bietet keine Schwierigkeiten, die geeigneten Mittel anzuwenden. Natürlich wird der Konstrukteur bestrebt sein, die schwingende Masse so klein als möglich zu machen, und es ist dies auch in hervorragender Weise gelungen. Die üblichen Werte bewegen sich in der Grösse von etwa 0,03—0,04 kg/qcm der Kolbenfläche, sodass bei den höchsten vorkommenden Tourenzahlen die Massendrucke noch unter der Kompressionsspannung von ca. 5 Atm. bleiben.

Weit gefährlicher als die von der Maschine hervorgerufenen Wirkungen sind die Stösse, die das Fahrzeug durch die Fahrbahn während der Fahrt zu erleiden hat. Es ist dies eine Kernfrage des Automobilbetriebes und ihr sollte man die grösste Aufmerksamkeit schenken. Die Strasse ist das Gegebene und ihr muss sich das

Digitized by Google

Fahrzeug anpassen. Den an sich ausserordentlich verschiedenen Fahrwiderständen, als ganzes genommen, also den wechselnden Lauf- und Steigungswiderständen ist durch entsprechende Änderung der Zugkräfte leicht zu begegnen. Diese Frage bietet wenig Schwierigkeiten und ist durch die Ausbildung der Wechselgetriebe im wesentlichen bereits gelöst. Nicht als gelöst zu betrachten ist aber die Frage der Aufnahme der Stösse, und diese ist von der allergrössten Wichtigkeit, denn von ihr hängt der Bestand des Fahrzeuges ab. Der Stoss des rollenden Rades gegen den hervorstehenden Stein, die plötzliche Vernichtung kinetischer Energie sollte ein Hauptstudium der Fahrzeugtechniker sein.

Die Frage ist etwas in den Hintergrund getreten, solange die Fabrikation sich hauptsächlich auf die Herstellung von leichteren Fahrzeugen mit Gummibereifung beschränkte. Die Benutzung des Pneumatiks und des Vollgummireifens ist ein Mittel, die Wirkung der Unebenheiten der Fahrstrasse abzuschwächen; sie ist ein theoretisch richtiges Mittel, da die Wirkung des Stosses bereits im Beginn aufgehoben wird und der Stoss sich überhaupt nicht voll ausbilden kann. Leider ist Gummi ein sehr wenig haltbares Material und schon als Rohprodukt sehr teuer. Es verträgt nur geringe Beanspruchung und verliert schon durch das Alter an Güte. Zwar ist mit seiner Hilfe viel geleistet worden, bis zu enormen Geschwindigkeiten hat sich der Pneumatik als ausreichend erwiesen, aber in weiterem Umfange ist er für Lastwagen nicht zu verwenden. Besser bewährte sich bei grösseren Personenwagen und auch Lastwagen der Vollgummireifen, aber auch hier sind bei ungünstigen Strassenverhältnissen verhältnismässig schnelle Abnutzung und häufige Defekte nicht zu vermeiden.

Auch vermindert sich gegenüber dem Pneumatik durch Vollgummireifen der Schutz des Fahrzeuges vor den Unebenheiten der Strasse ganz wesentlich. Ist aber die Verwendung von Gummibereifung ausgeschlossen und es bleibt nur die Eisen- oder Stahlbereifung, so bleiben die Stösse in ungeschwächter Kraft, die sich durch die Achse dem ganzen Fahrzeug mitteilen. Die ganze Masse des Wagens wird durch jeden einzelnen Stoss mitgenommen, das fortwährende Fallen des Wagens von einem Stein auf den andern erschüttert und durchrüttelt jede Verbindung bis zur kleinsten Schraube. In welcher Weise alles in Anspruch genommen wird, kann man an Wagen sehen, die mit Stahlgussrädern und Eisenbereifung einige Zeit auf schlechtem Pflaster haben laufen müssen. Alle Verbindungen werden aufs äusserste beansprucht, selbst Nietver-

Digitized by Google

bindungen, die mit grosser Sorgfalt hergestellt werden, halten nicht Stand.

Der Konstrukteur muss vor allen Dingen sehen, die härtesten Stösse von dem empfindlichen Teil fernzuhalten. Weiter muss er alle Verbindungen auf das sorgfältigste ausbilden und sichern. Er muss versuchen, Deformationen von Teilen möglichst fernzuhalten, die solche nicht vertragen. Auf absolute Starrheit, ja selbst auf Starrheit in dem gewöhnlichen Sinne kann er nicht rechnen; die Konstruktion muss so ausgebildet werden, dass alle Teile, die grösseren Belastungsschwankungen unterworfen sind, vor allem also der Rahmen, möglichst elastisch sind, während die Maschine selbst von solchen Formveränderungen nicht berührt wird. Je elastischer das Ganze ausgebildet ist, je mehr jeder einzelne Teil den eindringenden Stössen einzeln nachgeben kann, desto haltbarer und dauerhafter wird das ganze Fahrzeug. Auch die Durchbiegungen, die durch das Aufbringen der Nutzlast zustande kommen, müssen eingehend berücksichtigt werden. Sie sind nicht klein, schon bei längeren Personenwagen zählen sie trotz besonders ausgebildeter Stahlblechrahmen nach Millimetern. Dabei sieht man noch Wagen, bei denen die Hauptübertragungswelle starr durch die ganze Länge des Wagens bis zum Ketten- oder Kardanantrieb durchgeführt ist, so dass sie also alle Rahmenverbiegungen mitmachen muss.

Das Hauptmittel zur Abhilfe wird natürlich eine gut ausgebildete Federung und eine möglichst grosse Elastizität der Räder selbst sein, neben der Reduktion des Gewichtes aller Teile bis zu der zulässigen Grenze.

Gewicht.

Das Gesamtgewicht möglichst klein und das Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht möglichst gross zu gestalten, wird ein Hauptbestreben des Fahrzeugbaues sein. Von der Grösse des ständig mitzutransportierenden Eigengewichts hängt in erster Linie der Brennstoffverbrauch ab, und damit die direkten Betriebskosten. In der Regel wird die Hälfte der überhaupt zurückgelegten Kilometer als Leerfahrt erscheinen, deren Kosten bei der Berechnung des Preises für einen Nutztonnenkilometer ebenfalls mit zu berücksichtigen sind. Je geringer hierbei die Last, desto geringer die Kosten. Ausser diesem Grunde spricht weiter mit der Raddruck.

Da Fahrzeuge für ca. 4—6000 kg Nutzlast gefordert werden, beläuft sich das Gesamtwagengewicht häufig auf 9—10 000 kg, von denen ca. drei Viertel, der Adhäsion wegen, auf die Hinterachse zu

Digitized by Google

nehmen sind. Das ist sehr viel für eine Achse mit verhältnismässig schmalen Rädern; ein guter Zustand der Strasse ist für den schweren Lastwagen eine unerlässliche Bedingung. Also auch in dieser Hinsicht ist eine Verringerung des Eigengewichts nur erwünscht. Die Rücksicht auf die Stosswirkung ergab das gleiche Ziel.

Die Gewichtsverringerung darf aber nicht durch Gefährdung der Konstruktion erkauft werden. Gewiss gibt es bei den normalen Konstruktionen viel überflüssiges und nicht voll beanspruchtes Material. Es wäre aber falsch, die Beanspruchung der Gewichtsersparnis zu Liebe zu steigern. Dabei ist nie viel zu gewinnen, — einige Kilogramm höchstens — die gegenüber dem ganzen Gewicht von mehreren tausend Kilogrammen kaum in Frage kommen.

Es fragt sich, in welcher Weise hier vorzugehen ist. Man wird natürlich zuerst sehen, wo es angeht, überflüssiges Material zu vermeiden; totes Material aus dem Innern der Konstruktionsteile herauszubringen, möglichst nur Zug- und Druckspannungen zu schaffen. Ferner wird man, unter genauer Berücksichtigung der angreifenden Kräfte und durch möglichst weitgehende rechnerische Untersuchungen sich ein klares Bild über die wirklichen Beanspruchungen zu verschaffen suchen und dann mit den Spannungen bis zu der äusserst zulässigen Grenze gehen. Dies Verfahren wird schon einen erheblichen Gewinn an Material zur Folge haben, aber sehr viel ist damit nicht zu erreichen, die Ersparnis wird immer nur nach einzelnen Kilogramm zählen. Zwar wird man jedes überflüssige Kilogramm gern vermeiden und es können sogar bei bestimmten Gewichtsbeschränkungen in besonderen Fällen derartige Rücksichten von sehr grosser Wichtigkeit werden, aber im allgemeinen darf man nicht allzuviel Wert darauf legen, und vor allem sind Übertreibungen in diesem Sinne zu vermeiden. Bei einem Lastwagen, dessen Gesamtgewicht sich auf Tonnen beläuft, macht es überhaupt nichts aus, ob der Motor 10 oder 20 kg leichter wird. Hier müssen andere Rücksichten, vor allem Dauerhaftigkeit und Billigkeit in den Vordergrund treten.

Zur Erzielung geringerer Gewichte sollte man nie die höheren Gesichtspunkte vergessen, die an sich Gewichtsersparnisse zur Folge haben. An der Spitze steht die Erhöhung der Betriebsgeschwindigkeit; hohe Tourenzahl ergibt leichte Maschinen; hohe Tourenzahl soll möglichst bis an die Verbrauchsstelle der Kraft, also bis zur letzten Übersetzung angewendet werden und diese selbst soll so gross wie möglich sein. Damit werden alle Übertragungsteile, wie die krafterzeugende Maschine

Digitized by Google

selbst kleiner und leichter . Ferner ist erheblich durch geschickte Formgebung und Disposition innerhalb jeder einzelnen Maschine an Material zu sparen. Oft lässt sich durch einfache Gestaltung, durch zweckmässige Anordnung allein eine Maschine wesentlich leichter bauen als die übliche Gebrauchsform, die so oft ohne weiteres Nachdenken kopiert wird. Die Benutzung gemeinsamer Unterstützungen, die Berücksichtigung aller Nach- oder Vorteile wird oft durch ziemlich bedeutende Materialersparnis belohnt.

Schliesslich wird eines der Hauptmittel sein, an Stelle der im allgemeinen Maschinenbau sonst üblichen schweren Materialien spezifisch leichtere zu verwenden; insbesondere wird man suchen, die gegossenen Teile aus möglichst leichtem Material herzustellen, da hierin erfahrungsgemäss das grösste Gewicht steckt. Selbstverständlich dürfen dabei aber die Bedingungen der Billigkeit und leichten Bearbeitung nicht verletzt werden. Hierauf wird bei der Materialfrage noch besonders einzugehen sein.

Betrieb und Bedienung.

Die Eigenart des Fahrzeugbetriebes bringt es mit sich, dass die Maschine während ihrer ganzen Betriebszeit gezwungen ist in der wechselnden Witterung, im Schmutz und Staub zu arbeiten. Früher hielt man es nicht einmal immer für nötig, Zahnräder, Gelenkteile, Steuerung u. s. w. vollständig abzuschliessen. Bei trockenem Wetter und wenig Staub ist das unter Umständen wohl zulässig und hat nicht viel zu sagen. Sowie aber schlechtes Wetter eintritt, ist es nicht zu vermeiden, dass zwischen die reibenden und gleitenden Teile Sand, Staub und Schmutz eindringt, der natürlich in kurzer Zeit alle Reibflächen stark angreift. Erfahrungsgemäss dringt feiner Staub durch jede noch so kleine Fuge. Sehr stark macht sich dies geltend bei dem Fahrzeug, das sich stets im heftigsten Luftzug befindet und selbst viel Staub beim Fahren aufwirbelt. Gegen diesen gefährlichen Eindringling sich zu schützen, muss daher eine der ersten Pflichten des Konstrukteurs sein. Alle Teile, die in Öl laufen müssen, die nur etwas reichlicher Schmierung bedürfen, sollten in vollständig geschlossenen, staubdichten Gehäusen eingekapselt werden. Bis in die innersten Winkel und Ecken dringen Schlammspritzer hinein und setzen sich fest, mit Vorliebe an solchen Stellen, zu denen man bei der Reinigung nur schwer gelangen kann. Der Schmutz sitzt so fest in den Ecken und an den Schrauben, dass selbst ein kräftiger Wasserstrahl Zeit braucht, um ihn abzuspülen. Ein solcher steht

Digitized by Google

aber nicht überall zur Verfügung, und andererseits ist er auch nicht überall anzuwenden, weil man befürchten muss, dass der abgerissene Schlamm erst recht zwischen empfindliche Teile, die sich nicht ganz einkapseln lassen, hineingesprengt wird. Die Erfahrung zeigt überall, dass eine wirklich gründliche Reinigung von Hand selten vorgenommen wird, schneller Verschleiss der Maschinen ist häufig hierauf zurückzuführen. Der Konstrukteur muss deshalb vor allen Dingen die ganze Maschine nach Möglichkeit aus dem Bereich des spritzenden Schmutzes bringen, er muss sie besonders von unten sorgfältig abschliessen, er muss einen wirklichen Maschinenraum ausbilden, wie das bei jeder stationären Maschine selbstverständlich ist. Dieser Maschinenraum oder Abschluss muss aussen ganz glatte Wände zeigen, ohne hervorstehende Ecken, ohne Schrauben, an denen sich der Schmutz festsetzen kann. Eine solche glatte Aussenwand kann beim Reinigen leicht und unbedenklich abgesprengt werden, sodass das Äussere schnell wieder sauber wird. Trotz dieser Schutzmassregel wird in das Innere des Maschinenraums noch genug Schmutz eindringen, vor allem mit dem Ventilationswind, der der Kühlung wegen durch den Raum streichen muss. Es ist deshalb auch bei der Gehäuseausbildung notwendig, möglichst glatte Formen anzustreben und alle Schmutzwinkel und Ecken zu vermeiden. Die stets ölige Aussenwand der Gehäuse hält den Staub zurück; wird dann einmal ein Deckel geöffnet, dann ist das Eindringen dieses mit Staub und Sand vermischten Überzuges in das Gehäuseinnere zu befürchten. Alle Ränder der Deckel und Öffnungen müssen so ausgebildet werden, dass an der Stossfuge leicht und sicher aller anhaftender Schmutz abgewischt werden kann.

Überhaupt muss sich der Konstrukteur stets bewusst bleiben, dass das Bedienungspersonal in der Regel wenig aufmerksam und sorgfältig ist. Selten bekommt man einen wirklich sauber gehaltenen Motorwagen zu Gesicht, wenigstens soweit es die Maschine betrifft. Äusserlich ist meist alles schön blank und sauber, aber innen ist häufig die Vernachlässigung um so grösser. Dabei kann der Konstrukteur aber viel abhelfen. Die beiden genannten Massregeln, geschlossener Maschinenraum und glatte Form aller Wände, sind zunächst unerlässlich. Der Konstrukteur muss aber weiter darauf bedacht bleiben, dass alle empfindlichen Teile frei und offen vor dem Auge liegen, nicht versteckt hinter Nebenapparaten und Röhren, sodass der betreffende Teil nur schwer kontrolliert werden kann. Eine helle Farbe für das Innere und die ganze Maschine ist sehr vorteilhaft,

Digitized by Google

damit man jeden Schmutzfleck sofort bemerken und entfernen kann. Die Gewohnheit, alle Maschinenteile mit einem Überzug aus Aluminiumbronze zu versehen, ist sehr zu loben. Der Anstrich ist billig, dauerhaft und hell, leidet auch wenig unter der Hitze.

Die Frage der Reinigung und Sauberkeit ist die Lebensfrage für den Motor und das ganze Fahrzeug. Die Wartung ist nie so gut wie z. B. bei der Lokomotive, die nach jeder Fahrt unter wirklich sachgemässer Aufsicht sofort von einer Schar von Putzern in Pflege genommen wird, noch viel weniger entspricht sie der Behandlung, die einer ortfesten Maschine zu Teil wird. Um so mehr muss von vornherein darauf Rücksicht genommen werden, die Bedienung auf das geringste Mass zu reduzieren und an die Sorgfalt und Aufmerksamkeit des Personals möglichst geringe Anforderungen zu stellen.

Hand in Hand mit diesen Fragen gehen die Bedingungen einer guten Zugänglichkeit, einer leichten Revision und Kontrolle der schwachen Teile. Bei der Kleinheit aller einzelnen Teile und des zur Verfügung stehenden Platzes ist es nicht leicht, hier alle Wünsche zu befriedigen. Dem gänzlichen Abschluss der Maschine widerspricht die Forderung der Zugänglichkeit zunächst direkt. Es ist also mindestens nötig, alle Schutzwände und Schutzbleche mit genügenden Türen und Öffnungen zu versehen oder noch besser, sie ganz wegnehmbar zu machen. Des weiteren ist es notwendig, Hilfsapparate der Maschine, Rohrleitungen u. s. w. so anzuordnen, dass nicht erst die Demontage mehrerer Teile notwendig wird, um zu dem einen zu gelangen, der gerade nachzusehen ist. Die Apparate müssen nebeneinander, niemals hintereinander angebracht werden. Weiter sollte man bestrebt sein, alle empfindlichen Teile des Maschinenraumes möglichst hoch anzubringen, und nicht unter und zwischen den Längsträgern des Fahrzeuges, wo es stets dunkel und ölig ist und wo kaum Platz ist, mit einem kleinen Schraubenschlüssel einzudringen. Jede einzelne Schraube muss bei der Konstruktion kontrolliert werden, auf welche Weise und mit welcher Umständlichkeit man zu ihr gelangen kann. Verbindungen und Befestigungsarten sollten bevorzugt werden, die nach Art der Gewehrkonstruktionen sich selbst durch Ineinanderhaken sichern, so dass nur eine einzige letzte Schraube nötig ist, um das Ganze zusammenzuhalten. Diese Schraube muss bequem zugänglich sein und wird sorgfältig gesichert. Man sollte stets daran denken, wie unangenehm es ist, auf der Landstrasse, fern von aller Hilfe, liegen zu bleiben und erst mühsam ein

Digitized by Google

Dutzend Schrauben mit einem halben Dutzend Spezialschlüssel lösen zu müssen, um zu dem versagenden Teil zu gelangen.

Die Bedienung und Instandsetzung zur Fahrt soll sich auf wenige Handgriffe beschränken, deshalb soweit wie möglich automatisch durchgebildet werden, aber auch nur so weit, als es mit der durchaus notwendigen Einfachheit zu vereinigen ist. Möglichst sollen sich mit dem Motor alle Hilfseinrichtungen selbsttätig in Gang setzen, die Schmierung und Kühlung z. B. soll sich von selbst anstellen, so dass man sich also im wesentlichen auf die Auffüllung der Reservoire beschränken kann. Eine leichte Kontrolle über das richtige Funktionieren aller Einrichtungen muss stets ohne weiteres möglich sein.

Einfachheit.

Im einzelnen wird man zunächst jede unnütze Verzierung an der Maschine zu vermeiden haben. Genaue Anpassung der Konstruktion an den Verlauf der Kräfte, glatte und einfache Formgebung soll zu den Grundlagen des Entwurfes gehören. Eine „Schönheit" im architektonischen Sinne durch besondere Mittel, Symmetrie oder dergl. anzustreben ist entschieden verwerflich. Hier kann es nur heissen, zweckmässig konstruieren; für das maschinentechnisch gebildete Auge ist das Zweckmässige auch schön.

Die Einfachheit muss sich weiter erstrecken auf die Zahl und die Gleichartigkeit der Teile; sie muss auch zu finden sein in der ganzen Anordnung, wobei eine gute Zugänglichkeit in der Regel mitentsteht.

Es wäre falsch, aus theoretischen Gründen an irgend einer Stelle auf die Einfachheit zu verzichten. Es gilt zunächst, die einfache und betriebssichere Maschine zu finden, dann kann erst daran gedacht werden, sie nach den inzwischen untersuchten wissenschaftlichen Seiten hin zu vervollkommnen.

Reparaturmöglichkeit.

Da man stets in die Lage kommen kann, ohne fremde Hilfe die Maschine reparieren zu müssen, so ist ganz besonderes Augenmerk auf leichte Reparaturmöglichkeit und Auswechselbarkeit aller empfindlichen und der Abnutzung unterworfenen Teile zu richten. Ihre Zahl ist verhältnismässig gering, und ausserdem besitzen sie alle geringe Dimensionen, sodass man bequem Reserveteile mit sich führen kann. Natürlich wird möglichste Gleichartigkeit in der Maschine anzustreben sein. Man wird nur eine Sorte Ventile und

Digitized by Google

Gestänge verwenden, wird mit möglichst wenig Sorten Schrauben auszukommen suchen u. s. w. Das alles sind schon Ziele, die auch im Interesse der Massenfabrikation liegen. Soweit, dass jede Reparatur in jeder beliebigen Dorfschmiede auszuführen wäre wird man kaum kommen können. Dazu ist die ganze Maschine zu fein und erfordert zu viel Präzisionsarbeit. Dagegen lässt sich dieser Gesichtspunkt sehr wohl bei der Konstruktion der rein wagentechnischen Teile berücksichtigen. Die Bremsen, Lenkvorrichtungen, Federn, auch Rahmenteile können so konstruiert sein, dass sie zur Not in einer gewöhnlichen Schmiede ersetzt werden können. Insbesondere sollten solche Teile aus einem Material hergestellt werden, das der gewöhnliche Schmied zu behandeln versteht. Innere Reparaturen, am Kurbeltriebe z. B., sind kaum anders als in der Fabrik zu machen. Für solche Fälle ist es zweckmässig, das ganze Fahrzeug nach der Fabrik zu geben. Eine stärkere Abnutzung im Innern macht sich stets rechtzeitig an dem Gang der Maschine bemerkbar, es kann also einem plötzlichen Versagen aus diesem Grunde durch genügende Aufmerksamkeit vorgebeugt werden. Wert zu legen ist bei der Konstruktion auch darauf, dass das der Abnutzung unterworfene Stück an kleinen, leicht auszuwechselnden Teilen liegt.

Massenfabrikation.

Obwohl die Massenfabrikation eigentlich mehr Sache der Werkstatt ist, die durch die Schaffung zweckmässiger Arbeitsmethoden und Maschinen eine rationelle Herstellung bewirken muss, so kommt sie doch gerade im Automobilbau für den Konstrukteur ausserordentlich in Frage. Gewiss lässt sich für jede, auch kompliziertere Konstruktion (z. B. Schreibmaschinen) eine Massenfabrikation einrichten und ebenso können natürlich auch für jeden beliebigen Automobilmotor die nötigen Spezialmaschinen beschafft werden, um den Motor in rationeller Massenfabrikation herzustellen. Indess erfordert das bei der Vielteiligkeit des ganzen Automobils, namentlich wenn mehrere Typen in Frage kommen, eine ganz ungeheure Menge von Spezialeinrichtungen, deren Anschaffung die Fabrikation sehr lange fühlbar belasten würde. Hier muss der Konstrukteur bereits beim Entwurfe darauf bedacht sein, im Sinne einer rationellen Massenfabrikation zu konstruieren.

Die Anforderungen werden für ihn im wesentlichen darauf hinauslaufen, möglichst gleichartige Teile zu schaffen, also überall

Digitized by Google

verwendbare Normalien zu bilden und die Anzahl dieser Normalien möglichst klein zu halten. Das ist natürlich nicht leicht, bei der Vielseitigkeit des Wagenbaues und den fortwährend schwankenden Wünschen der Käufer. Nach den bisherigen Erfahrungen kann sich die Normalisierung eigentlich nur auf die maschinelle Ausrüstung erstrecken.

Schon der Rahmen einer Type ist kaum gleichartig für alle Verwendungszwecke herzustellen, insbesondere bei Gebrauchswagen. Die ausserordentlich verschiedene Form der Wagenkästen erfordert bald einen längeren, bald einen kürzeren Rahmen. Innerhalb der einzelnen Maschinen aber und innerhalb einer ganzen Fabrik kann die Normalisierung sehr weit getrieben werden. Ob es auch möglich sein wird, noch weiter zu gehen und schliesslich dahin zu kommen, dass alle Fabriken gleiche Normalien einführen, ist wohl kaum zu hoffen. Es wäre allerdings für den Wagenbesitzer sehr angenehm, wenn er an jeder beliebigen Stelle passende Reserveteile erhalten könnte. Für einen kleinen Bestandteil des Motorwagens ist es ja bereits der Fall; für die Zündkerze, die überall das gleiche Gewinde aufweist; es wäre sehr zu wünschen, dass in dieser Hinsicht mehr geschehe.

Für die Neueinrichtung einer Fabrik ist es jedenfalls von ausserordentlicher Wichtigkeit, dass die Normalisierung von Anfang an durchgeführt wird, und es bedarf gründlicher Erwägung von Seiten des Konstrukteurs, wie er mit wenigen Einheiten am besten die verschiedenen Wagengattungen herstellen wird. Eine unüberlegte, von vornherein zu grosse und zu vielseitig geplante Fabrikation hat schon manche Fabrik in ihrem Emporkommen schwer gehindert.

Wie weit die Normalisierung im Einzelnen vorzunehmen ist, ergibt sich natürlich erst bei der Durcharbeitung der Entwürfe. Eine möglichste Gleichartigkeit der Teile ist anzustreben, auch so, dass das betreffende Stück für mehrere Grössen der Maschinen zu brauchen ist. Wenn dann auch z. B. bei einem Normalventil die Gasgeschwindigkeit bei den kleineren Typen gering sein würde, so ist das kein Grund, für verschiedene Motorgrössen verschiedene Ventile auszuführen. Oft wird es gut sein, mit Rücksicht auf die Fabrikation ein Stück zu teilen, das man sonst ganz gut ungeteilt herstellen könnte, die Massenherstellung des einen Teiles kann sich schon lohnen. Die Zahl der Teile spielt also in diesem Sinne keine Rolle.

Selbstverständlich ist es, dass auf die Normalien im engern Sinne das grösste Gewicht gelegt werden muss. Schrauben,

Digitized by Google

Muttern, Schlüsselweiten müssen auf alle Fälle normal bleiben und in möglichst geringer Zahl der verschiedenen Grössen angewendet werden. Wichtig ist es, dass alle Schrauben, die in der Regel nacheinander zu lösen sind, beim Revidieren z. B., nur ein- und dieselbe Schlüsselweite erhalten. Zu Normalien wird man ferner machen können: Spannschlösser, Gelenke für Bremszüge, Dichtungsringe, Keile, Splinte u. s. w. — Weiter sollten alle konischen Verbindungen mit gleicher Neigung und möglichst wenigen und immer wiederkehrenden Durchmessern ausgeführt werden. Die Zahl der in der Fabrikation notwendigen Kaliberringe und Bolzen muss möglichst klein gehalten werden, denn die Anschaffung und die ständige Kontrolle und Ergänzung sind sehr kostspielig.

Der Konstrukteur soll nicht nur in dem Sinne über dem Modelltischler stehen, dass er sehr schwierige Guss- und Kernformen zu vermeiden versteht, er muss weiter schauen und die Konstruktion so ausbilden, dass die Formung sehr bequem wird, und dass vor allen Dingen eine möglichst grosse Garantie für guten Guss gegeben ist. Verluste durch undichten und ungenauen Guss sind meist sehr kostspielig, da die Fehler häufig erst bei der Bearbeitung bemerkt werden. Hinsichtlich der Bearbeitung auf den gewöhnlichen Werkzeugmaschinen wäre zu erwähnen, dass die Fräsarbeit sowie das Bohren auf dem Bohrwerk zu bevorzugen ist. Schmiedestücke sind so zu konstruieren, dass sie in einfachen Pressen hergestellt werden können. Nicht nur Stahl, sondern auch Messing lässt sich sehr vorteilhaft pressen, mit einer Genauigkeit und Sauberkeit, dass die weitere Bearbeitung sich auf ein Minimum beschränken kann. Kleinere Teile, Spezialschrauben, Muffen u. s. w. sind aus gezogenem Material durch Revolverarbeit herzustellen. Die Einrichtung der Hilfswerkzeuge, Einspannvorrichtungen, Schablonen u. s. w. ist zwar nicht Sache des Konstrukteurs, aber er kann auch hier zur Verbilligung beitragen, wenn er von vornherein darauf Bedacht nimmt. Die Wahl und Zahl der Schnittebenen ist nicht gleichgültig, ihre Lage gegeneinander sollte nicht durch den Zufall oder durch eine unwichtige konstruktive Rücksicht bestimmt werden. Möglichst wenig Bearbeitung und nur Maschinenarbeit muss immer das Bestreben des Konstrukteurs sein.

Sehr wesentlich und wohl unvermeidlich ist die Verwendung fertiger, von Spezialfabriken hergestellter Teile. Es dürfte nahezu unmöglich sein, dass eine Fabrik ein Automobil vollständig in allen seinen Teilen selbst herstellt, sie wird immer mehr oder weniger auf die Hilfe anderer Fabriken angewiesen sein. Aus-

Digitized by Google

rüstungsteile namentlich kann die Automobilfabrik kaum selbst herstellen, da diese oft eine grosse Spezialeinrichtung erfordern. Zudem wird das Fabrikat einer Spezialfabrik in der Regel weit gleichmässiger und billiger sein, als es die Automobilfabrik selbst herzustellen vermag. Kugellager, Kolbenringe, Dichtungsringe, Federn, Schrauben u. s. w. sind Normalien, die von Spezialfabriken bezogen werden müssen, wenn die Fabrikation wirtschaftlich bleiben soll. Danach muss sich natürlich der Konstrukteur von vornherein richten; es soll möglichst vermieden werden, dass die Spezialfabrik erst wieder den Konstruktionen der Automobilfabrik entgegenkommen muss.

Digitized by Google

III. Die Materialien.

Die Eigenart und die speziellen Anforderungen des Automobilbetriebes sind auf die Materialien in gleicher Weise von Einfluss gewesen, wie umgekehrt die Materialien ihren Einfluss auf die Ausbildung des Automobils ausgeübt haben. Mit den gewöhnlichen Konstruktionsmaterialien des allgemeinen Maschinenbaues war man bald an der Grenze des Zulässigen angekommen. Das Gusseisen ist wegen seiner geringen Arbeitsfähigkeit bei den Erschütterungen und Stössen des Automobilbetriebes recht wenig geeignet. Als Zylindermaterial ist es ja nicht zu entbehren, und an dieser Stelle ist es auch ganz am Platze. Grosse Biegungskräfte können aus dem Zylinder ferngehalten werden, Gefahr für Brüche ist kaum vorhanden. Für Gehäuse jedoch, die an längeren angegossenen Tragarmen aufgehängt sind, ist es nicht zulässig. Für solche Formen ist es nicht zähe genug, und wenn es auch eine Weile hält, so ist doch ein Bruch nie ganz ausgeschlossen. Dazu kommt noch, dass es grosses spez. Gewicht besitzt und dass seine Wandstärke auch an Stellen, die nur der Abdichtung dienen und in denen keine Beanspruchungen vorliegen, des Gusses wegen beibehalten werden muss. Ein Gehäuse aus Gusseisen ist daher stets sehr schwer. Man hat es zwar erreicht Wandstärken zu giessen, die sonst im Maschinenbau nicht üblich waren, Wandstärken von 4—5 mm, bei komplizierten Formen, und auch nicht allzu kleinen Teilen. Hierdurch wird aber der Preis des Gusses infolge der grossen Gussunsicherheit ganz erheblich erhöht.

An Stelle des Gusseisens ist in vielen Fällen Rotguss oder Phosphorbronzeguss getreten. Die Bronzen sind nicht so spröde wie das Gusseisen, lassen sich fast beliebig zähe herstellen, und geben scharfe Abgüsse . Die Gusssicherheit ist dabei recht gross. Die Bearbeitung ist auch nicht schwierig, da man für Gehäuse immer weiche Sorten bevorzugt. Dagegen ist ihr spezifisches Gewicht noch grösser als das des Gusseisens, — 8,5—8,8 gegenüber 7,25, —

Digitized by Google

man müsste also die Wandstärke um 18% verringern, um gleiche Gewichte zu erhalten. In Bezug auf die Festigkeit würde dieser dünnwandige Guss dem Eisenguss dann allerdings noch gleichstehen, aber die Gusssicherheit sinkt dabei wieder beträchtlich, da es sich stets um sehr geringe Wandstärken handelt. Im allgemeinen werden daher Gehäuse aus diesen Materialien schwerer als die gusseisernen. Sie werden ausserdem erheblich teurer, und zwar um ca. 500%.

Ein recht gutes und zähes Material, der Stahlguss und Flusseisenguss, ist vielfach im Motorwagenbau angewendet worden. In Bezug auf Festigkeit steht er an der Spitze, gegenüber den Stössen des Fahrzeugbetriebes dürfte er auch das richtige Material sein. Nur sind die Gussschwierigkeiten sehr beträchtlich. Es hat recht lange gedauert, bis die Spezialgiessereien in der Lage waren, dünnwandige Modelle einigermassen sauber und dicht zu giessen. Die dünne Wandstärke macht bei dem zähflüssigen Material sehr grosse Schwierigkeiten. Viele Firmen lehnen es direkt ab, Gehäuse u. s. w. unter 8—10 mm Wandstärke zu giessen, und die Firmen, die es nach vielen Mühen und Versuchen schliesslich zu Wege gebracht haben, auch grössere Stücke mit ca. 5—7 mm Wandstärke herzustellen, müssen natürlich entsprechende Preise fordern. Eine grosse Schwierigkeit beruht ferner darin, dass die Materialien sehr stark und ungleichmässig schwinden, so dass die Abgüsse oft windschief und verzogen aus der Form herauskommen. Mitunter lassen sie sich dann allerdings in kaltem Zustande nachträglich richten, oft aber ist das nicht möglich und man muss durch eine entsprechende Abänderung der Modelle der Giesserei entgegenkommen, was natürlich sehr mühsam und kostspielig ist. Am zweckmässigsten scheint es, die Wandstärke nicht so gering als beim Gusseisen zu halten, um wenigstens die Fehlgüsse zu vermeiden. Da das spezifische Gewicht annähernd gleich dem des Gusseisens ist, so werden die Abgüsse in der Regel schwerer und kommen bereits an die Gewichte von Bronzeabgüssen heran. Auch der Preis ist nicht gering, für 1 Kilogramm wird bis zu 2 Mk. bezahlt, ebenso ist die Bearbeitung verhältnismässig teuer.

Man versuchte aus all diesen Gründen schon bald, an Stelle dieser Materialien spezifisch leichtere zu setzen. Versuche mit Aluminium und seinen Legierungen wurden in Angriff genommen. Das reine Aluminium eignet sich nicht, wohl aber haben seine Legierungen mit Nickel und Phosphor eine grössere Verwendung gefunden. Es bedurfte selbstverständlich erst einiger Zeit, bis es

Digitized by Google

gelang, gleichartige und gute Abgüsse aus diesem Metall zu erzielen. Der anfangs sehr poröse Guss ist jetzt bei fast allen Giessereien, die sich speziell damit befassen, dicht und gleichmässig geworden. Das Material ähnelt in seinen Festigkeitseigenschaften ganz dem Gusseisen. Als Mittelwert kann etwa für Kz = 2000 kg/cm², bei einer Dehnung von 4—12% angenommen werden. Für gewalztes und gezogenes Material wird Kz=2800—3000 kg/cm² erreicht. Es ist also nicht gerade ein hervorragendes Material, aber für die Gehäuse der Automobilmotoren wegen seiner sonstigen Eigenschaften sehr gut zu verwenden. Allerdings gilt von seinen Festigkeitseigenschaften dasselbe, was oben von dem Gusseisen gesagt wurde, es besitzt ein geringes Arbeitsvermögen. Das Material lässt sich aber gut bearbeiten, es schmiert nicht, wie das reine Aluminium, bietet also der Werkstatt keine Schwierigkeiten. Seine hervorragendste Eigenschaft ist jedenfalls das geringe spezifische Gewicht, das etwa 2,9—3,0 beträgt. Gusseisen ist also 2,5 mal, Rotguss 3 mal so schwer. Die Wandstärke kann die gleiche sein wie bei Gusseisen, das Material fliesst gut aus und die Abgüsse sind genügend sauber. Freilich ist es nicht billig, das Kg. kostet etwa 5 Mk. Vergleicht man die drei Materialien ihrem Preis für die Volumeneinheit nach, dann steht das Nickelaluminium zwischen Gusseisen und Rotguss. Es kostet etwa:

1 cdm	Gußeisen . . .	ca. 3,60	Mark
1 „	Rotguß	„ 17,50	„
1 „	Nickelaluminium .	„ 15,00	„

Man könnte demnach die Festigkeit eines Nickelaluminiumgehäuses noch um ca. 18% erhöhen durch Vergrösserung der Wandstärke ehe es teurer wird als Rotguss.

Die Verwendung der Aluminiumlegierung ist also durchaus berechtigt, wo auf geringes Gewicht Wert gelegt wird und wenn die Preisfrage nicht in erster Linie steht, vorausgesetzt dabei ist, dass seine Festigkeitseigenschaften gebührend berücksichtigt werden. Wo man das Material mehr als Hilfsmaterial, als Material zum Kapseln betrachtet, und nicht als tragendes Konstruktionsmaterial, kann man es ruhig anwenden. Hier ist noch viel schärfer, als bisher, ein sehr wertvolles Konstruktionsprinzip durchzuführen: eine klare Trennung der beiden zu erfüllenden Aufgaben — der Dichtigkeit und der Festigkeit. Für die Kräftewirkungen müssen entsprechende Konstruktionsmaterialien herangezogen werden, womöglich Zug- und Druckstäbe aus Stahl, wogegen für den Abschluss und zur Einkapselung empfindlicher Teile das leichte Alu-

Digitized by Google

minium am geeignetsten ist. Dieser Gedanke ist bei den bekannten Konstruktionen noch selten verwirklicht worden, trotzdem er nahe liegt. Entweder nimmt man zu dem beanspruchten Gehäuse den schweren und teuren Stahlguss, oder man sucht durch sehr kräftige und gedrungene Ausbildung der Tragfüsse an dem Aluminiumgehäuse genügende Sicherheit zu schaffen. Vollständig zuverlässig wird eine solche Konstruktion nie, vor allem nicht bei Wagen mit Eisenbereifung.

Mit der Zeit wird man in der Giessereitechnik vielleicht dahinkommen, auch die Aluminiumlegierungen mit grösserer Zähigkeit herzustellen, dann können sie ebenso wie der Stahlguss auch als Material für Tragkonstruktionen verwendet werden. Andere Metalle oder Legierungen, z. B. Magnalium, haben sich wenig bewährt.

Von den eigentlichen Konstruktionsmaterialien bevorzugt der Automobilbau die zähen Sorten, dann erst die festen und harten. Zähigkeit ist die Hauptbedingung. So nimmt man für Beschlagteile am Wagen, an den Federn, Achsen und Rädern meist weichen Stahl; damit es bei einer anormal hohen Beanspruchung, z. B. einem Unfall, zu keinem Bruch kommt, sondern höchstens zu einer Verbiegung. Die Verwendung von Schmiedeeisen ist zulässig, so lange die Beanspruchungen nicht all zu gross werden. Dann muss man schon zu besonderen Stahlsorten greifen, die bei sehr hoher Festigkeit noch grosse Dehnung aufweisen.

Es sind dies hauptsächlich Nickel- und Chromnickelstähle. Diese Materialien besitzen ganz hervorragende Eigenschaften. Leider ist in der Literatur bisher über die Behandlung und die Festigkeitseigenschaften dieser Stähle noch recht wenig zu finden und die Angaben der Hüttenwerke sind bis auf wenige Ausnahmen recht spärlich. Häufig wird nur die Bruchfestigkeit und die Bruchdehnung angegeben, während den Konstrukteur vor allem die Elastizitätsgrenze interessiert.

Ein viel verwendeter deutscher Chromnickelstahl weist ein Kz = 11 000 kg ungehärtet und 15 000 kg gehärtet auf.

Die Dehnung beträgt dabei 20 und 10%. Für derartigen Stahl kann der Konstrukteur noch 3000 kg/cm² Spannung und mehr als zulässig erachten, vorausgesetzt, dass die Deformationen nicht zu gross werden. Die wertvollste Eigenschaft aller dieser Stahlsorten ist jedoch die, dass sie sich vorzüglich im Einsatz härten lassen. Der Kohlenstoffgehalt des Stahls ist an sich sehr gering und entspricht nahezu dem des Schmiedeeisens, die Festigkeit ist also mehr dem Zusatze an Chrom u. s. w. zu verdanken. Der im Ein-

Digitized by Google

satzofen zugeführte Kohlenstoff bewirkt nun bei sachgemässer Behandlung eine ganz ausserordentlich harte Oberfläche, ohne dass der Kern seine grosse Zähigkeit einbüsst. Allerdings stellen diese edlen Stähle auch recht hohe Ansprüche an die Behandlung, die man früher nur an gewissen hochwertigen Werkzeugstählen kannte. Z. B. muss die Dauer und Temperatur des Einsatzprozesses auf das Peinlichste überwacht werden. Differenzen von 50° nach oben oder unten können schon recht erhebliche Änderungen in den Eigenschaften des Materials zur Folge haben. Für gleitende Flächen sind diese Stähle ein vorzügliches Material, noch mehr aber für solche Teile, die im Betriebe harten Stössen ausgesetzt sind. Diese Stahlsorten haben es z. B. erst ermöglicht und zulässig gemacht, dass die Zahnräder der Wechselgetriebe einfach durch seitliches Ineinanderschieben der Zähne, während des Laufens eingeschaltet werden.

Trotz der dabei auftretenden hohen Beanspruchungen zeigen Getriebezahnräder aus solchem Material bei entsprechend guter Durchbildung der Konstruktion kaum Spuren einer Abnutzung. Sehr zu statten kommt bei der Bearbeitung die Eigenschaft, dass der Stahl nicht allzu hart ist, wenn er vorschriftsmässig ausgeglüht ist. Das Ausglühen ist allerdings eine besondere Kunst, die die gewöhnlichen Schmiede zunächst nicht verstehen. In vielen Fällen ist es am besten, die Schmiedestücke im Hüttenwerk selbst herstellen zu lassen, wo sie dann derart ausgeglüht werden, dass die Bearbeitung leicht ist.

Dass diese Stahlsorten die Ausbildung und Betriebssicherheit der modernen Kugellager erst ermöglicht haben, sei nur nebenbei erwähnt. Für den Automobilbau sind diese Lager ja von ausserordentlicher Bedeutung geworden, sie haben die Durchführung der modernen Konstruktionen vielfach erst überhaupt möglich gemacht. Mehr und mehr geht man dazu über, Zapfen und Büchsen aus dem erwähnten edlen Material herzustellen und die Laufflächen zu härten.

Der Preis dieser Stahlsorten ist allerdings höher als der guten Werkzeugstahls. Die Verwendung des Materials für sehr schwere Stücke wird also aus diesem Grunde nicht möglich sein. Doch hat der Automobilbau im allgemeinen nicht damit zu rechnen. Die Zapfen, Wellen und Räder sind meist nur wenige Kilogramm schwer, so dass der Mehrpreis im Einzelnen nicht ins Gewicht fällt. Gegenüber den Bearbeitungs- und sonstigen Kosten macht er jedenfalls verhältnismässig wenig aus.

Auch für die weniger beanspruchten Teile wird mehr und mehr besseres Material genommen. Gepresste Rahmen aus Stahl-

Digitized by Google

blech mit einer Festigkeit von 7—8000 kg/cm² bilden die Regel, wobei die Beanspruchung durch ruhende Last der Deformation wegen möglichst niedrig gehalten wird.

Die richtige Wahl der Materialien bildet eine der Hauptaufgaben des Automobilkonstrukteurs und es wäre sehr zu wünschen, dass über die Festigkeit und sonstigen Eigenschaften, über Behandlung und Bearbeitung der neuereren Stahlsorten in der Litteratur mehr veröffentlicht würde. So lange der Konstrukteur nicht von vornherein genau weiss, was er dem Material zutrauen darf, muss er sich in den Grenzen der üblichen Beanspruchungen halten, und das leichtsinnige Verfahren, nur um an Gewicht zu sparen mit den Beanspruchungen auf das Doppelte des sonst Üblichen zu gehen, ist stets zu verwerfen, so lange man nicht entsprechend besseres Material verwendet. Leider hat man in diesem Punkte viel gesündigt. Unzählige Fehlschläge und Misserfolge in der jungen Industrie sind auf ein derartiges Verfahren zurückzuführen und ein guter Teil aller vorkommenden Störungen und Unfälle; vor allem auch die noch vielfach verbreitete Ansicht, dass das Automobil eine unzuverlässige, betriebsunsichere Maschine ist.

Digitized by Google

IV. Konstruktive Ausbildung des Motors.

Wahl der Hauptabmessungen.

Eine Berechnung des Motors nach dem Kraftbedarf des einzelnen Wagens würde einmal wegen der höchst unsicheren Unterlagen über Wegwiderstände u. s. w. nur zu sehr zweifelhaften Resultaten führen, zweitens aber würden so viele verschiedene Motorgrössen notwendig werden, als überhaupt Wagen zu bauen sind. Die Fabrikation muss sich jedoch nur auf wenige Grössen beschränken, und mit je weniger Modellen sie auskommt, desto rationeller wird sie sein. Es ist deshalb von vornherein zu entscheiden, auf welchem Wege die verschiedenen Leistungen erzielt werden sollen, die je nach dem Umfang der Fabrikation zu erreichen sind, und in welchen Abstufungen man zweckmässig bauen wird.

Es stehen hier im wesentlichen zwei Wege offen, 1. die Vergrösserung eines einmal gewählten Modells, z. B. die schrittweise Vergrösserung eines Zweizylindermotors von bestimmtem Typus, 2. die Vermehrung der Zylinder unter Beibehaltung der Dimensionen des einzelnen Zylinders. Durch Verwendung beider Mittel würde man natürlich jedem Anspruche nachkommen können.

Der erste Weg führt zu einer vielteiligen Fabrikation. Jedes einzelne Stück der Maschine muss entsprechend der veränderten Leistung vergrössert werden, abgesehen von wenigen Normalteilen. Die allgemeinen Eigenschaften, Gleichförmigkeitsgrad, Massenausgleich bleiben sich ähnlich oder gleich, das Gewicht steigt schnell. Der mechanische Wirkungsgrad kann bei den grösseren Modellen durch entsprechende konstruktive Ausbildung um ein Geringes verbessert werden.

Der zweite Weg: die Vergrösserung der Zylinderzahl hat für die Fabrikation den Vorteil, dass die Dimensionen fast aller Einzelteile ungeändert bleiben und dass sich nur wenige Modelle ändern. In Bezug auf Gleichförmigkeit des Ganges und Massenausgleich ergeben sich desto bessere Resultate, je grösser die Zahl der Zylinder ist. Ob eine Steigerung des Gewichts sich ergiebt gegenüber der

Digitized by Google

ersten Methode, bedarf einer genauen Untersuchung, desgleichen, inwieweit sich die Herstellungskosten relativ vermehren.

Dass diese grösser sein werden, als im ersten Falle, ist wohl ohne weiteres anzunehmen, da die Zahl der Teile wächst. Reduzierend auf die Herstellungskosten wirkt hier natürlich die Massenfabrikation, die in bedeutendem Umfange möglich wird.

Allerdings wird bei Vermehrung der Zylinderzahl der mechanische Wirkungsgrad nur so gross bleiben als bei der zugrundeliegenden Einheitstype; wenn das nun auch ein gewisser Nachteil ist, so ist es doch kein grosser, denn viel lässt sich auch bei der Vergrösserung des Modells nicht erreichen. Man rechnet mit 75% bei den kleinen Maschinen, ob bei den grösseren 80% erreicht werden, bleibt zweifelhaft. Im Verhältnis zu den sonstigen Verlusten im Getriebe und besonders in der Übertragung nach den Hinterrädern spielen diese Unterschiede keine Rolle.

Wichtiger erscheint der Einwand, dass mit der Vermehrung der Teile eine Verringerung der Betriebssicherheit verbunden ist. Allerdings ist nicht zu leugnen, dass die Wartung eine grössere Sorgfalt erfordert, und die Möglichkeit, ein Defectwerden eines Motorteiles zu übersehen, bei den vielzylindrigen Maschinen grösser ist. Es hat sich aber gezeigt, dass diese Befürchtungen nicht sehr begründet sind. Vor allen Dingen ist die Gefahr des vollständigen Liegenbleibens desto geringer, je mehr Zylinder da sind. Der Bruch eines Ventils hat beim Einzylindermotor den vollständigen Stillstand zur Folge; beim mehrzylindrigen Motor wird es in den meisten Fällen möglich sein, das Ziel mit verminderter Kraft noch zu erreichen. Diese Reserve innerhalb der Maschine ist jedenfalls nicht zu unterschätzen und dürfte den Nachteil des schlechteren Wirkungsgrades schon aufwiegen.

Der Gedanke, die ganze Fabrikation eines Unternehmens auf eine Zylindertype zu basieren und die verschiedene Leistung der Motoren lediglich durch Vermehrung der Zylinder herzustellen, ergibt einen gewissen Einblick in die Beziehungen der Preis- und Gewichtsverhältnisse der verschiedenen Motortypen und es ist deshalb im Folgenden der Versuch gemacht worden, rechnerisch Anhaltspunkte darüber zu gewinnen.

Wenn man die gebräuchlichen Motorstärken für alle Arten Personen- und Lastfahrzeuge zusammenstellt, dann ergiebt sich als mittlere Leistung etwa 24/28 PS, rechnet man die nächste Stufe der schnelleren Personenwagen hinzu, ca. 36/42 PS, als Minimum dürften 6/7 PS zu nennen sein, die etwa bei leichten städtischen Lieferungs-

Digitized by Google

wagen erforderlich sind. Es liegt somit nahe, diese Motoren von 6/7 PS in einzylindrigem Grundtypus anzunehmen und nun durch Vermehrung der Zylinder die Motoren von 12/14, 18/21, 24/28 und 36/42 PS herzustellen, entsprechend einer Zylinderzahl von 2, 3, 4 und 6. Man würde hier bei den grössten Leistungen die Vorteile des besten Massenausgleichs und des gleichförmigsten Drehmomentes ohne weiteres erreichen, während bei den schwächeren Motoren die störenden Wirkungen infolge ihrer Kleinheit nicht unzulässig sein würden. Alle Motoren würden dabei dieselbe Umdrehungszahl haben, entsprechend den verschiedenen Geschwindigkeiten wären also verschiedene Übersetzungen notwendig. Das lässt sich aber bequem erreichen. Es fragt sich nur, welche Tourenzahlen als zulässig zu erachten sind. Zur Erzielung möglichst leichter Maschinen ist selbstverständlich eine möglichst hohe anzustreben; begrenzt wird dieses Bestreben 1. durch die Forderung nicht allzugrosser Abnutzung, 2. durch die Zündgeschwindigkeit des verbrennenden Gemisches. Die erste Bedingung führt zu reichlich bemessenen Arbeitsflächen, bezw. zur Verwendung gehärteten Materials, ferner zum Ersatz der gleitenden durch rollende Reibung (Kugellager). Bei entsprechender Ausbildung lässt sich hier viel erreichen. Ausserdem ist zu bemerken, dass es nicht der Zweck sein kann, so dauerhafte Maschinen herzustellen, wie es bei stationären Anlagen üblich ist. Es ist nicht nötig, die Maschine für eine längere Betriebszeit zu bauen, als das Fahrzeug selbst aushält. Wird durch die kürzere Lebensdauer eines Wagens auch eine höhere Tilgung bedingt, so ist doch andererseits die Maschine von vornherein billiger.

Es empfiehlt sich die Anwendung mittlerer Kolbengeschwindigkeiten von 4—5 m, was bei den üblichen Hubgrössen ca. 1000—1100 Touren ergiebt.

Die andere Bedingung, innerhalb der Grenzen der Zündgeschwindigkeit zu bleiben, wird hierbei noch nicht verletzt. Wie bei solchen Tourenzahlen (optisch) aufgenommene Diagramme erkennen lassen, ist die Verbrennung noch genügend schnell. Auch der Auspuff zeigt bei richtiger Vergasung kein Nachbrennen. Allerdings ist eine reichliche Vorzündung erforderlich, die aber leicht zu erzielen ist.

Es lässt sich an Hand von schätzungsweisen Vergleichen verfolgen, wie sich die verschiedenen Motorarten und -Grössen in Bezug auf Gewicht und Preis stellen. Man hat zu untersuchen, 1. wie wachsen diese Faktoren (und andere Eigenschaften) bei Vergrösserung einer Motorart, also des einzylindrigen,

Digitized by Google

zweizylindrigen u.s.w. Motors, 2. wie verhalten sich diese Eigenschaften beim Übergang von einer Motorart zur anderen, vom einzum zwei-, drei- u.s.w. zylindrigen Motor. Es ergibt sich also eine Kurvenschar, z. B. abhängig von der Leistung der Motoren, die einen übersichtlichen Vergleich zulässt. Eine derartige Zusammenstellung ist im folgenden versucht worden.

a) Gewicht. Als Grundlage auch. für die späteren Preisberechnungen ist zunächst zu untersuchen: wie wächst das Gewicht eines Motors bei Vergrösserung seiner Leistung. Zunächst ist vorauszusetzen, dass die Kolbengeschwindigkeit konstant bleibt. Diese Voraussetzung ist notwendig, damit die Massendrucke nicht bald unzulässig werden, und damit die Bedingungen der notwendigen Entzündungszeit nicht verletzt werden. Es ergeben sich somit Tourenzahlen, die umgekehrt proportional den Hubabmessungen werden, bei n-facher Vergrösserung des Hubes ist die Tourenzahl $\frac{1}{n}$ mal der bisherigen. Die lineare Vergrösserung des Hubes und des Durchmessers hat auch bei allen anderen Abmessungen lineares Wachsen zur Folge.*)

Die Leistung der Motoren pro Zylinder, die allgemein durch die Formel ausgedrückt wird:

$$N = \frac{F \cdot pme \cdot s \cdot n}{2 \cdot 60 \cdot 75}$$

ergibt sich unter der gemachten Voraussetzung, Kolbengeschwindigkeit

$$c = \frac{s \cdot n}{30} = \text{konst.}$$

und unter der ferneren Voraussetzung pme = konst. zu

$$N = C \cdot d^2 \text{ pro Zylinder}^{**}) \qquad 1)$$

sie ist also proportional dem Quadrate des Durchmessers.

Das Gewicht ist eine Funktion des Volumens, es wird demnach bei linearer Vergrösserung aller Teile in der dritten Potenz wachsen, es ist also

$$G = C \cdot d^3 \qquad 2)$$

Durch Vereinigung der beiden Gleichungen 1. und 2. ergibt sich somit

$$G = C \cdot N^{3/2} \qquad 3)$$

*) Vgl. R. Conrad, der Motorwagen 1903, S. 317.

**) Mit C sei im folgenden stets eine Konstante bezeichnet.

Digitized by Google

Damit ist jedoch der konstruktiven Ausführung noch nicht genügend Rechnung getragen. Die Rücksichten auf die Herstellung erfordern namentlich bei den kleineren Dimensionen, die hier überall vorliegen, ein gewisses Minimum von Material, das als konstante Grösse in allen Motoren wiederzufinden ist. Wie man allgemein schon die Erfahrungsformeln für Wandstärke usw. aufstellt, nämlich $d = a + b \cdot x$, so ist auch hier ein konstantes Glied in die Gewichtsformel einzufügen, man wird demnach besser schreiben:

$$G = Cg + C\,Ne^{3/2}. \qquad 4)$$

Dieses Glied Cg enthält aber nicht nur das eben genannte Minimal-Gewicht der Herstellung, sondern auch noch eine Reihe von Gewichten, die selbst bei Verwendung anderer Motorarten nahezu dieselben bleiben würden. Es sind dies vor allen Dingen normale Hilfsapparate: Zündapparate, Vergaser, Pumpe, die man in derselben Grösse bei allen Motoren beibehalten kann, und die man bereits von vornherein in einer Grösse wählen wird, dass sie auch für grössere Modelle noch ausreichen. Das Glied Cg müsste also noch weiter zerlegt werden, in zwei Teile Cga und Cgr, wobei Cga die absolute Konstante bedeuten soll, die bei allen Motorgrössen und Motorarten dieselbe ist, während Cgr die Minimalmaterialienkonstante, nur innerhalb einer Motorart, also relativ konstant sein würde. Die endgültige Gewichtsformel bekommt demnach das Aussehen:

$$G = Cga + Cgr + CN^{3/2}. \qquad 5)$$

Die Bestimmung der verschiedenen Konstanten kann nur an praktischen Ausführungen erfolgen. Von den wenigen richtigen Veröffentlichungen dieser Art*), die untereinander sehr abweichen, weil die Motoren zu verschiedener Bauart sind, ist ein Wert gewählt, der sich auch bei schätzungsweiser Kalkulation der Einzelteile ergibt, nämlich 100 kg für einen Einzylindermotor von 5 PS. Der Wert mag vielleicht etwas hoch erscheinen, doch ist hier zu berücksichtigen, dass im Einklang mit den hieraus zu berechnenden Mehrzylindermotoren verschiedene Werte als vorhanden angesehen werden mussten, die man beim Einzylindermotor allein vielleicht einfacher gestalten konnte. Es betrifft dies namentlich die Steuerteile. Das geschätzte Gewicht der einzelnen Bestandteile ist aus der ersten Spalte der Tabelle I zu ersehen. Für die Konstante Cga ist 25 kg gerechnet, für die Konstante Cgr ebenfalls 25 kg. Mit diesen Konstanten

*) Vgl. Güldner, Verbrennungsmotoren, 1. Aufl. S. 441.

Digitized by Google

Tab. I. **Vergleich der Gewichte von Motoren gleicher Abmessungen (steigender Leistung).**

Stück	I-Zylinder	II-Zylinder		III-Zylinder		IV-Zylinder		VI-Zylinder	
	Gewicht kg	Gewicht kg	Zunahme %	Gewicht kg	Zunahme %	Gewicht kg	Zunahme %	Gewicht kg	Zunahme %
Kurbelwelle	6	8	33	10	66	14	130	20	230
Kolben und Schubstange	4	8	100	12	200	16	300	24	500
Schwungrad	25	30	20	30	20	30	20	30	20
Zylinder	12	20	66	28	130	40	230	60	400
Ventile, Zünder und Zubehör	2	4	100	6	200	8	300	12	500
Steuerräder, Regulator	4	4	—	4	—	4	—	4	—
Steuerwellen	3	5	66	6	100	9	200	14	360
Lager	2	2	—	2	—	3	50	4	100
Gehäuse: Stirnwände	3	3	—	3	—	4	33	5	66
„ Seitenwände	6	10	66	12	100	18	200	27	350
„ Tragarme	4	5	25	6	50	8	100	12	200
Pumpe mit Zubehör	3	3	—	3	—	3	—	3	—
Vergaser mit Rohrleitung	5	6	20	7	40	8	60	9	80
Zündapparat	15	15	—	15	—	15	—	15	—
Gesamtgewicht	94 kg	123 kg	31 %	144 kg	53 %	180 kg	91 %	239 kg	154 %
Konstante Cga	25	25		25		25		25	
Konstante Cgr	25	33		40		48		63	
Leistung des Motors	4,5 PS	9 PS		13,5 PS		18 PS		27 PS	

Digitized by Google

Tab. II. **Vergleich der Preise von Motoren gleicher Abmessungen (steigender Leistung).**

Stück	I-Zylinder	II-Zylinder		III-Zylinder		IV-Zylinder		VI-Zylinder	
	%	% des I-Zylinder	Zunahme in %	% des I-Zylinder	Zunahme in %	% des I-Zylinder	Zunahme in %	% des I-Zylinder	Zunahme in %
Kurbelwelle	6,2	8,1	30	9,9	60	14,2	130	20,4	230
Kolben und Schubstange	12,5	25,0	100	37,5	200	50,0	300	75,0	500
Schwungrad	5,0	6,3	25	6,3	25	6,3	25	6,3	25
Zylinder	16,3	31,7	95	47,3	190	63,5	290	94,3	480
Ventile, Zünder und Zubehör	8,7	17,4	100	26,1	200	34,8	300	52,2	500
Steuerräder und Regulator	7,5	7,5	—	7,5	—	7,5	—	7,5	—
Steuerwellen	3,8	6,1	60	7,6	100	11,8	210	17,5	360
Lager	3,7	3,7	—	3,7	—	5,5	50	7,4	100
Gehäuse	10,0	14,0	40	16,5	65	23,0	130	34,0	240
Pumpe	3,8	3,8	—	3,8	—	3,8	—	3,8	—
Vergaser und Rohrleitung	12,5	15,0	20	17,5	40	20,0	60	22,5	80
Zündapparat	10,0	10,0	—	10,0	—	10,0	—	10,0	—
Im ganzen	100,0	148,6 %	ca. 50 %	193,7 %	ca. 100 %	250,4 %	ca. 150 %	350,9 %	ca. 250 %
Leistung des Motors	4,5 PS	9 PS		13,5 PS		18 PS		27 PS	

Digitized by Google

würde demnach die Gewichtsformel für die Einzylindermotoren lauten:

$$G_1 = 25 + 25 + 4{,}6 \cdot N^{3/2}.$$

Die Kurve, siehe Fig. 1, steigt sehr steil an. Sie lässt erkennen, dass der Einzylindermotor für den Fahrzeugbetrieb nicht günstig ist. Der Hauptgrund liegt darin, dass das schwere Schwungrad an dem Wachstum mit teilnimmt.

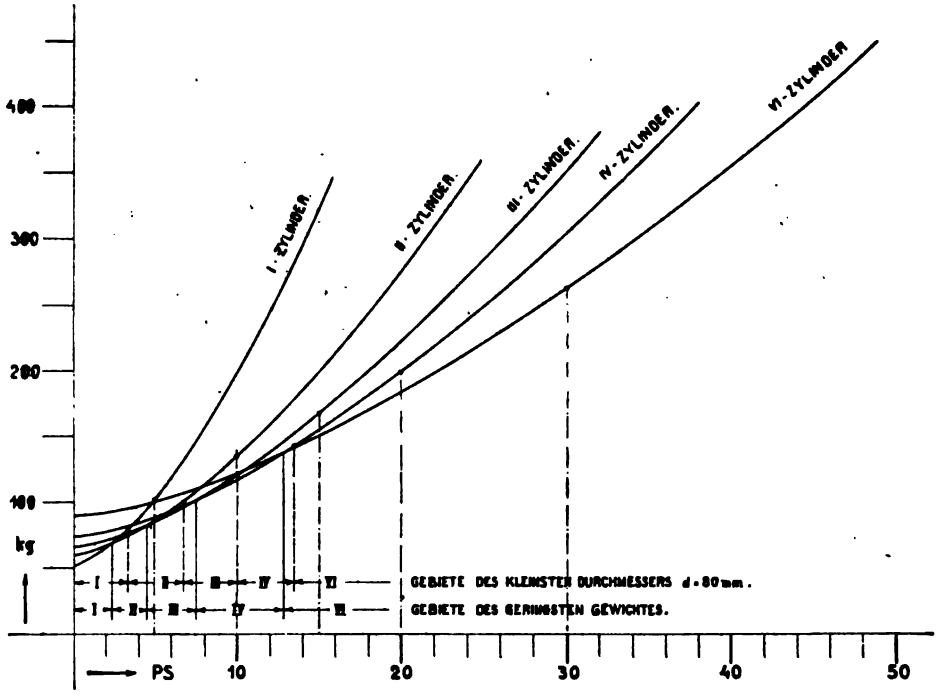


Fig. 1.

Der Übergang von dem Einzylinder nach den mehrzylindrigen Motorarten von gleicher Bohrung und gleichem Hub kann auf folgende Weise geschehen. An Hand einer Skizze ist die Vergrösserung der einzelnen Teile des Motors geschätzt und hiernach die Summe für jede Motorart gebildet. Dies Verfahren ist in der Tabelle I durchgeführt worden, das Wachstum ist nach der Fig. 2 prozentual geschätzt und aus den Gewichten des Einzylindermotors umgerechnet.

Bei der Vergrösserung ist angenommen, dass die Welle des Zweizylindermotors ebenso wie die des Dreizylinders auf 2 Lagern ruht, die des Vierzylinders auf 3 und des Sechszylinders auf 4. Die Zylinder sind zu 2 bezw. 3 in einem Gussstück vereinigt gedacht.

Digitized by Google

Im Einzelnen ist zu bemerken, dass das Schwungradgewicht nach einer kleinen Vermehrung beim Zweizylindermotor als konstant angenommen ist, wie es wegen der Unterbringung der Reibungskuppelung und aus anderen praktischen Gründen bei allen Motoren ausgeführt werden würde, trotzdem es für den gleichförmigen Gang, namentlich des Vier- und Sechszylindermotors nicht unbedingt erforderlich wäre.

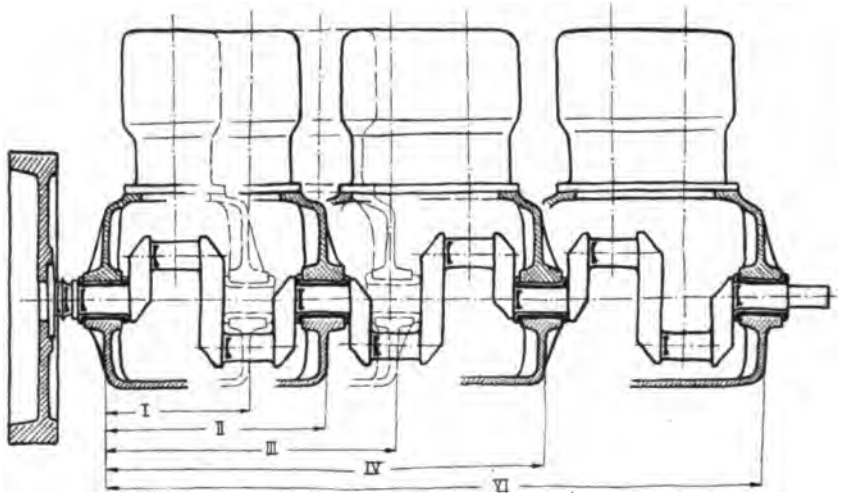


Fig. 2.

Die Bestimmung der Konstanten, die übrigens von erheblichem Einfluss auf das Resultat sind, konnte natürlich auch nur schätzungsweise vorgenommen werden. Die absolute Konstante Cga ist geblieben, die relative Konstante ist aus der des Einzylindermotors entwickelt, durch Vergrösserung entsprechend der Gesamtgewichtszunahme der Motorart. Das ungefähr richtige Werte gewählt sind, ergibt sich aus der Übereinstimmung mit ausgeführten Motoren verschiedener Firmen.

Die Resultate zeigen eine nahezu geradlinige Gewichtszunahme von einer Motorart zur anderen, siehe Fig. 3, und die Formeln für die mehrzylindrigen Maschinen ergeben sich: (die Konstanten sind zusammengezogen):

Zweizylinder $G_{II} = 58 + 2{,}4 \cdot N^{3/2}$,
Dreizylinder $G_{III} = 65 + 1{,}6 \cdot N^{3/2}$
Vierzylinder $G_{IV} = 73 + 1{,}4 \cdot N^{3/2}$,
Sechszylinder $G_{VI} = 88 + 1{,}0 \cdot N^{3/2}$.

Entsprechend diesen Gleichungen sind die Kurven in Fig. 1 eingetragen. Das Stück jeder Kurve, das die untere Begrenzung

Digitized by Google

des ganzen Büschels ergibt, würde das Verwendungsgebiet der betreffenden Motorart darstellen, wenn nur das Gewicht in Betracht gezogen wird. Es zeigt sich, dass der Einzylinder nur bis 2½ PS der leichteste Motor ist, dass dann bis zu 4,5 PS der Zweizylinder kommt, bis zu 7,5 PS der Dreizylinder und von 12,5 PS an schon der Sechszylinder. Für die praktische Ausführung würde ein bestimmter kleinster Durchmesser als untere Grenze zu setzen sein. Wird dieser zu 80 mm angenommen, dann verschieben sich die Grenzen auf 3,4, 6,7, 10,0 und 13,4 PS. Die

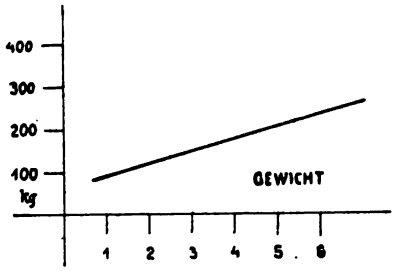


Fig. 3

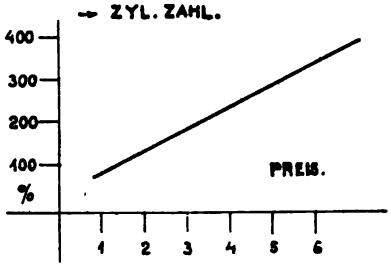


Fig. 4.

Einheitstype von 6—7 PS würde demnach stets zu schwere Motoren ergeben, d. h. man könnte durch weitere Unterteilung noch kleinere Gewichte im Ganzen erzielen.

Der Verlauf der Kurve zeigt jedenfalls, dass die Unterteilung der Leistung in viele Zylinder von ganz ausserordentlichem Einfluss ist, vielmehr als man erwarten sollte.

b) P r e i s. Auf ähnliche Weise ist es weiter möglich, sich ein Bild über die Preissteigerung zu verschaffen. Der Preis einer fertigen Maschine setzt sich zusammen aus:

1. Materialkosten,
2. Bearbeitungskosten,
3. Generalunkosten,
4. Verdienstzuschlag.

Für den Vergleich ist zu berücksichtigen, dass ein Teil der Kosten für alle Motoren konstant bleibt, entsprechend der bereits

Digitized by Google

benutzten Konstanten Cga, dass ferner innerhalb jeder einzelnen Gruppe noch die Konstante Cgr mit gleichem Preis einzusetzen ist. Der veränderliche Teil der Kosten wäre nach den genannten 4 Punkten zu ermitteln. Dabei kann man vereinfachend die Punkte 1 und 4, sowie 2, 3 und 4 zusammennehmen, da sich 3 und 4 stets als Prozente der beiden ersten Punkte darstellen. Der veränderliche Teil der Kosten wäre also zusammenzusetzen aus:

a) Materialkosten,

b) Bearbeitungkosten,

und als Einheit hierbei sind die schon entsprechend 3 und 4 vergrösserten Beträge anzunehmen.

Das Anwachsen der Kosten a) und b) ist verschieden. Das Material ist eine Funktion des Gewichts, die Bearbeitung im wesentlichen eine Funktion der Oberfläche. Die Kosten a sind also entsprechend Gleichung 3) zu setzen

$$K_M = c \cdot N^{3/2}.$$

Die Kosten b stellen sich dar, da auch die Leistung proportional d^2 wächst (Gleichung 1), als direkt proportional der Leistung, nämlich

$$K_B = c \cdot N.$$

Wenn schliesslich wiederum mit c_k die Kosten der konstanten Teile bezeichnet werden, die sich ebenfalls in ein $c_{ka} + c_{kr}$ zerlegen lassen, so wird die allgemeine Formel für die Kosten der Motoren lauten:

$$K = c_{ka} + c_{kr} + c_1 \cdot N^{3/2} + c_2 \cdot N \qquad 6)$$

Die 4 Konstanten sind ebenfalls aus einer Ausführung zu entwickeln bezw. aus einer Zeichnung zu kalkulieren. In dieser Weise ist die Tabelle II entstanden. Es ist der Preis für den in Tabelle I zugrunde gelegten Einzylindermotor benutzt worden, um das prozentuale Wachstum aller anderen Motorarten zu ermitteln. Die Verteilung des Preises auf die einzelnen angeführten Teile in der ersten Spalte ist nach einer angenäherten Berechnung der bearbeiteten Fläche und des Materials vorgenommen. Der Übergang auf die anderen Motorarten ist sowohl mit Rücksicht auf die Zunahme des Gewichts als mit Rücksicht auf die zunehmende Grösse der Bearbeitungsfläche gemacht. Die Zunahme selbst, sowie der Wert der Zunahme in Prozenten des zugrunde gelegten Einzylindermotors ist nebeneinander gestellt. Die gesamte mittlere Zunahme des Preises stellt sich ebenfalls als annähernd geradlinig dar, siehe Fig. 4. Die Bestimmung der Konstanten ist auf folgende Weise vorgenommen worden.

Digitized by Google

Der Preis für den ganzen Motor von 4,5 Pferdestärken ist angenommen zu 800 Mk. Als absolut konstant sind gerechnet die Pumpe, der Vergaser, sowie der elektrische Zündapparat, deren Preis zusammen nach Katalogwerten ca. 210 Mk. oder 26% des Gesamtpreises beträgt. Die relative Konstante, die nach der Gewichtstabelle 25 kg Gewicht entspricht, ist berechnet aus dem Durchschnittspreis pro 1 kg des Motors. Der Durchschnittspreis ist unter Zugrundelegung des genannten Preises von 800 Mk. und des Gewichts von 94 kg für die Einzylindermotoren zu 8,5 Mk. per Kilogramm anzusetzen. Die relative Konstante würde demnach ergeben: $25 \cdot 8{,}5 = 212$ Mk., das sind ebenfalls ca. 26% der Gesamtsumme. Das übriggebliebene Material, dem Gewicht nach 44 kg, kostet demnach zusammen 800—420 = 380 Mk. oder 48%, und diese setzen sich noch zusammen aus dem Materialpreis und den Bearbeitungskosten. Wenn also der durchschnittliche Materialpreis zu bestimmen ist, dann sind alle Konstanten aufgefunden.

Ein Vergleich bei allen Motorarten ergibt nun, dass wirklich ein Durchschnittspreis für das Material existiert, der sich überall annähernd wiederfindet. Wenn man annimmt, dass mit einem Verdienstzuschlag von ca. 15% das Kilogramm Eisen und Stahl 0,90 Mk. kostet, (der Guss ist infolge der dünnen Wandstärken mit ca. 50 Pfg. Giessereipreis anzusetzen, der Stahl kostet zwischen 80 und 200 Pfg.) und ferner das Kilogramm Nickelaluminium und Rotguss im Durchschnitt ca. 5,20 Mk. kostet, dann ergibt sich bei allen Motorarten als Durchschnittspreis 1,75 Mk. für das Kilogramm Material.

Der Preis für die 44 kg Material bei dem angenommenen Einzylindermotor ergibt sich demnach zu $44 \cdot 1{,}75 = 77$ Mk. oder 9,6% der Gesamtsumme, und es bleibt für die Bearbeitung dieses Gewichts übrig 301 Mk. oder 38%. Die beiden Konstanten c_1 und c_2 bestimmen sich also aus den Gleichungen:

$$c_1 \cdot N^{3/2} = 9{,}6 \text{ und } c_2 \cdot N = 38$$

Die Grösse $N = 4{,}5$ PS hierin eingesetzt ergibt für

$$c_1 = 1{,}01 \text{ und } c_2 \cdot = 8{,}45$$

und die Kostengleichung für die einzylindrigen Motoren lautet:

$$K_I = 26 + 26 + 1{,}01 \cdot N^{3/2} + 8{,}45 \cdot N$$

in der die Konstanten Prozente der Kaufsumme eines 4,5 PS-Motors bedeuten. Für den Vergleich ist die Beziehung auf die Prozente genügend.

In gleicher Weise ist bei den anderen Motorenarten vorgegangen und der Wert der verschiedenen Konstanten in Prozenten

Digitized by Google

des Einzylindermotors ausgedrückt. Das Resultat lautet für die Gruppe

Zweizylindermotor $K_{II} = 66 + 0{,}53 \cdot N^{3/2} + 7{,}69 \cdot N$
Dreizylindermotor $K_{III} = 79 + 0{,}39 \cdot N^{3/2} + 7{,}55 \cdot N$
Vierzylindermotor $K_{IV} = 93 + 0{,}31 \cdot N^{3/2} + 7{,}44 \cdot N$
Sechszylindermotor $K_{VI} = 120 + 0{,}23 \cdot N^{3/2} + 7{,}33 \cdot N$

Die 5 Gleichungen sind in Fig. 5 graphisch aufgetragen. Ihr Charakter entspricht ganz dem der Gewichtskurven, doch sind die Schnittpunkte, die die Grenzgebiete darstellen, weiter hinaufgerückt.

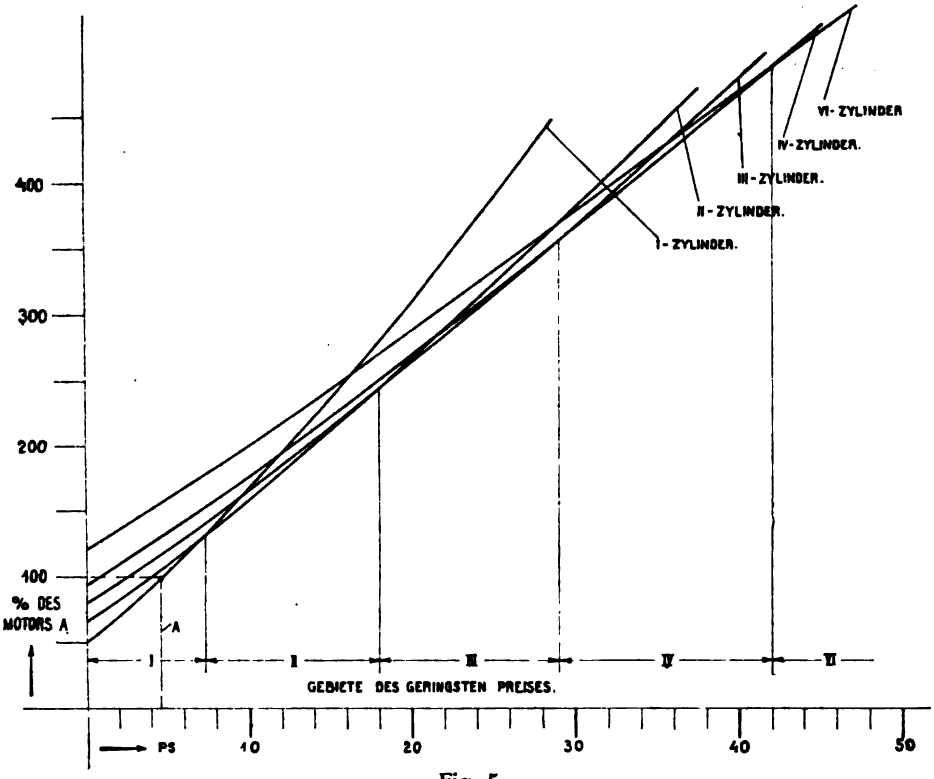


Fig. 5.

Dies liess sich ja auch von vornherein erwarten, denn das Material ist weiter unterteilt, die Bearbeitung nimmt relativ zu. Als billigste Motoren würden nach den Kurven zu nennen sein:

bis 7,5 PS der Einzylinder,
von 7,5—18 PS der Zweizylinder,
„ 18—29 PS der Dreizylinder,
„ 29—ca. 42 PS der Vierzylinder,
über 42 PS der Sechszylinder.

Digitized by Google

Die Wahl der Abstufung von 6 zu 6 PS würde also von 3 Zylindern an schon etwas zu teure Motoren ergeben, jedoch ist die Differenz nicht erheblich. Die Preiskurven liegen bei den fraglichen PS-Zahlen so nahe aneinander, dass man kaum von einem Unterschiede reden kann. Die Kurven beruhen nur auf Abschätzungen, es ist leicht möglich, dass sich die Schnittpunkte noch etwas verschieben. Es scheint jedoch, dass von 10—30 PS die Motoren fast gleich teuer werden, gleichgültig, ob sie zwei-, drei- oder vierzylindrig ausgeführt werden.

Es sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass beide Kurventafeln, Figur 1 und Figur 5 keinen Anspruch auf Genauigkeit haben können, ihr Wert liegt lediglich im Vergleich. Die Fig. 1 wird mit vielen Ausführungen, namentlich nicht allzu leichter Bauart, gute Übereinstimmung zeigen; Figur 5 lässt sich dazu benutzen, an Hand eines Ausführungswertes von einem bestimmten Fabrikat durch Reduktion im Verhältnis der Ordinaten auf die Preise der anderen Arten desselben Systems zu schliessen.

c) Dynamische Verhältnisse. Es ist noch kurz ein Blick auf die dynamischen Verhältnisse der Motorarten zu werfen. Das mit der Zylinderzahl ausserordentlich günstig werdende Drehmoment war schon erwähnt. In Fig. 6 ist die Abhängigkeit des Schwungrad-

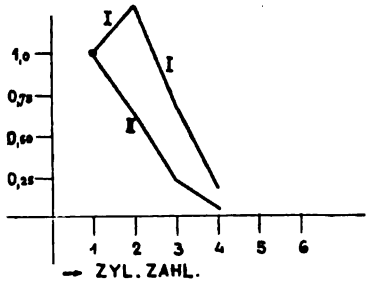


Fig. 6.

gewichtes von der Zylinderzahl bei demselben Gleichförmigkeitsgrad dargestellt, Kurve I (siehe Güldner Verbr. Mot. S. 328), und zwar beim Zweizylindermotor für um 180° versetzte Kurbeln, die man aus Rücksicht auf den besseren Massenausgleich in der Regel wählt. Die Kurve zeigt deutlich, welche Verbesserung der Gleichförmigkeit des Ganges mit der Vermehrung der Zylinder verbunden ist. Dabei bezieht sich die Kurve noch nicht einmal auf gleiche Motorleistungen, sondern auf gleiches

Digitized by Google

Hubvolumen. Die Ordinaten wären für gleiche Leistungen im Verhältnis der Zylinderzahlen zu reduzieren. (Kurve II.) Es besteht also kein Zweifel, dass von diesem Gesichtspunkt aus die Vergrösserung der Leistung durch Vermehrung der Zylinder erstrebt werden muss. Man wird allerdings, wie schon erwähnt, das Schwungrad garnicht so klein ausführen, als es möglich wäre.

Die auftretenden Erschütterungen werden hauptsächlich verursacht durch die freien Massenkräfte und -Momente, die infolge des ungenügenden Ausgleichs der schwingenden Masse der Motoren auftreten. Sie können sehr unangenehm werden, da die Eigenschwingungen des Fahrzeugrahmens unter Umständen in Reso-

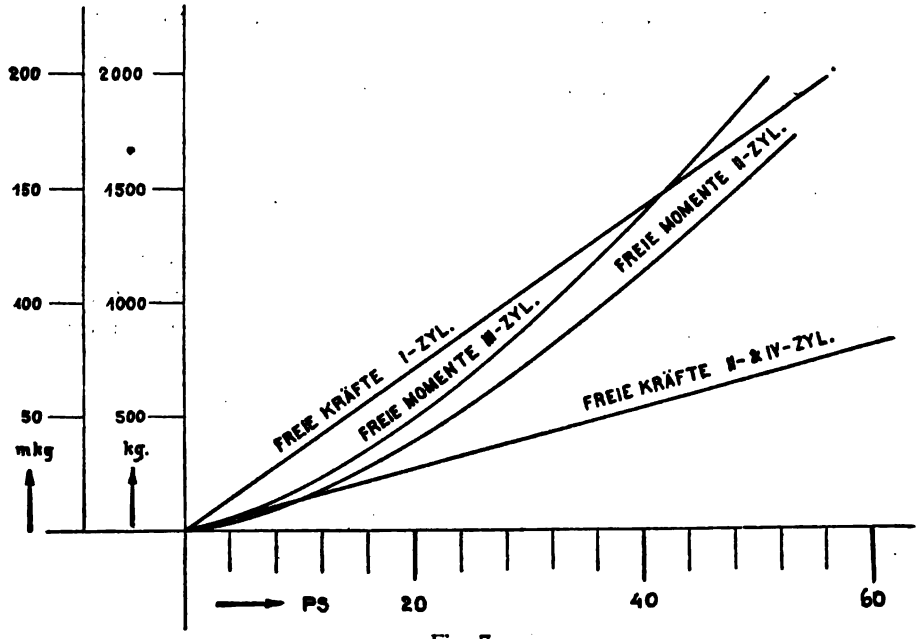


Fig. 7.

nanz mit diesen Erschütterungen geraten. Je grösser die Motoren werden, desto grösser sind auch diese Massenkräfte, und desto grösser sind die Schwingungszeiten; in demselben Masse nimmt daher auch die Gefahr der Resonanz zu. Im Anhang ist eine Untersuchung der Massenwirkungen aller in Betracht kommenden Motorarten durchgeführt, insbesondere sind dabei die Bedingungen für einen möglichst guten Massenausgleich dargelegt worden. Die Resultate der Untersuchungen sind hier zum Vergleich benutzt und die Abhängigkeit von der Motorvergrösserung in Figur 7 dargestellt. Die Massenkräfte wachsen bei derselben Motorart nach

Digitized by Google

der bisherigen Annahme konstanter Kolbengeschwindigkeit proportional der Leistung, wie eine einfache Überlegung ergibt.

Die allgemeine Formel für den Massendruck des Gestänges lautet genügend genau:

$$B = \frac{d^2\pi}{4} \cdot \frac{mv^2}{r} (\cos \alpha \pm \lambda \cdot \cos 2\alpha)$$

wobei unter m die Masse pro qcm Kolbenfläche verstanden ist. Die Grösse v ist wegen der konstanten mittleren Kolbengeschwindigkeit ebenfalls als konstant zu betrachten ($v = \frac{\pi}{2} \cdot c$), r ist ein Vielfaches von d, der Klammerausdruck ist ebenfalls momentan konstant, da selbstverständlich der Massendruck nur bei gleicher Kurbelstellung verglichen werden kann. Für das Wachstum kommt also nur m in Betracht. Die Masse m wächst mit dem Gewicht, also mit der 3. Potenz bei linearer Vergrösserung, und ist auf den Quadratzentimeter Kolbenfläche zu beziehen; sie lässt sich demnach schreiben:

$$m = \frac{c \cdot d^3}{d^2} = cd$$

Die Formel für den gesamten Massendruck wird also:

$$B = c \cdot d^2 \qquad 7)$$

Die Leistung N steigt ebenfalls mit dem Quadrat des Durchmessers (Gleichung 1), also ist zu setzen:

$$B = C \cdot N \qquad 8)$$

Der Massendruck als Funktion der Leistung stellt sich also für die einzelnen Motorarten als gerade Linie dar.

Der spezifische Massendruck

$$b = \frac{mv^2}{r} (\cos \alpha \pm \lambda \cos 2\alpha) = \frac{cd^2}{d^2} = c$$

bleibt demnach konstant, was ja auch unmittelbar zu erwarten ist, da die Massen auf den Quadratzentimeter des Kolbens nur linear zunehmen können, und zwar in demselben Verhältnis wie der Radius r.

Etwas anders ist das Verhalten der freien Momente. Diese setzen sich zusammen aus dem Massendruck, bezw. aus einer Zentrifugalkraft und einem Hebelarm, der mit der Vergrösserung des Motors ebenfalls wächst. Der allgemeine Ausdruck für die Momente

$$M = c \cdot B \cdot l$$

muss also als Funktion des Durchmessers d geschrieben werden:

$$M = c \cdot d^2 \cdot d$$

und da $N = c \cdot d^2$ ist, so folgt M in Bezug auf N:

$$M = c \cdot N^{3/2}. \qquad 9)$$

Digitized by Google

Die Kurve für die Momente steigt also schneller als der reine Massendruck.

Unter Voraussetzung eines guten Massenausgleichs sind die Kurven in Fig. 7 für die freien Massendrucke und -Momente aufgezeichnet. Der Einzylindermotor ergibt nur freie Kräfte, und zwar mit Berücksichtigung eines rotierenden Gegengewichts, so dass dessen freie Horizontalkräfte ungefähr gleich den vertikalen überschiessenden sind. Der Zweizylindermotor mit um 180 Grad versetzten Kurbeln ergibt freie Kräfte, dazu aber noch überschiessende Momente von beträchtlicher Grösse. Auch hier sind bereits Gegengewichte berücksichtigt, deren horizontale Momente ungefähr gleich den vertikalen sind. Die freien Kräfte sind die Differenz der Massenkräfte in den Kurbeltotlagen oben und unten, die infolge der endlichen Länge der Schubstange entsteht. Die Summe der beiden Wirkungen gibt fast ein schlechteres Resultat als beim Einzylindermotor.

Bedeutend besser stellt sich die Dreizylindermaschine. Freie Kräfte sind garnicht mehr vorhanden, die ursprünglich sehr grossen Momente sind hier durch eine entsprechende Wahl von Gegengewichten erheblich herabgemindert.

Der Vierzylindermotor weist nur noch überschiessende Kräfte auf, die gleich denen des Zweizylinders sind, der Sechszylindermotor schliesslich ist gänzlich frei von den betrachteten Störungen.

In den Kurven kommt die Schwingungszeit nicht zum Ausdruck, die von erheblichem Einfluss ist. Aus den Diagrammen im Anhang geht jedoch zur Genüge hervor, dass zwar die Momente in ihrer Periode mit den Tourenzahlen übereinstimmen, dass aber die freien Massenkräfte bei den Mehrzylindermaschinen bei jeder Umdrehung zwei Maxima und Minima haben. Auch hiernach würde also eine Mehrzylindermaschine zu empfehlen sein. Jedenfalls sind die freien Kräfte für Ein- und Zweizylindermaschinen in grösseren Ausführungen schon sehr beträchtlich und wirken sehr störend.

Sämtliche Untersuchungen lassen also erkennen, dass für Vergrösserungen der Leistung von Automobilmotoren die Vermehrung der Zylinder der richtige Weg ist; bei Benutzung derselben Zylindertypen wird auf diese Weise gleichzeitig eine rationelle Massenfabrikation möglich gemacht.

Wie gross die Abmessungen des Einheitszylinders zu nehmen sind, hängt von der Wahl der in Betracht kommenden Faktoren ab. Legt man die Einheit von 6 PS. zugrunde, dann dürfte es sich empfehlen, einen Durchmesser von 100 mm zu wählen, den Hub zu

Digitized by Google

120 mm die Tourenzahl zu 1200. Das sind runde Masse, die sich beinahe zu einer Normalie auch über den Rahmen der einzelnen Fabrik hinaus eignen dürften. Die Maximalleistung einer solchen Maschine würde sein, mit einem mittleren Druck von $p_{me} \cong 5$ Atm. gerechnet, $N_e = 6$ PS.

Für eine sehr umfangreiche Fabrikation würde natürlich noch eine zweite Grundtype zu wählen sein, denn mehr als 6 Zylinder hintereinander dürften kaum praktisch sein, da die Maschine zu lang und die Zahl der Einzelteile für den Betrieb zu gross werden würde. Nimmt man hierzu vielleicht einen Zylinder von 8 PS., entsprechend etwa einem Durchmesser von 120 mm und einem Hub von 140 mm bei 1000 Touren, so würde das ganze Gebiet bis zu 50 PS. zur Verfügung stehen, eine Abstufung, die jedem Bedarf gerecht werden würde.

Anordnung der Zylinder. Lagerung der Kurbelwelle.

Die Zusammenstellung mehrzylindriger Motoren aus der einzylindrigen Einheit würde in der einfachsten Weise dadurch erfolgen, dass gleichartige Maschinen einzeln neben einander gestellt werden. Abgesehen vom Schwungrade, das natürlich nur einmal an das Ende der ganzen Maschine zu setzen wäre, würden alle einzelnen Teile entsprechend der Zylinderzahl zu vervielfachen sein. Man würde ausserdem wohl die Kurbelwelle aus einem Stück herstellen, ebenso das gemeinsame Kurbelgehäuse, die Zahl der Lager würde n + 1 betragen. Zwischen den einzelnen Zylindern entsteht ein ziemlich weiter Zwischenraum, der einmal durch das dazwischenliegende Lager bedingt ist, andererseits aber auch durch die Befestigungsflansche der Zylinder und durch den hervorstehenden Wassermantel beider Gussstücke. Ein Mehrzylindermotor, in dieser Weise aufgebaut, wird stets eine verhältnismässig grosse Länge erhalten. Dadurch geht aber ein beträchtlicher Teil von der verfügbaren Baulänge des ganzen Fahrzeugs verloren. Es muss aber danach gestrebt werden, die Maschine so kurz wie möglich zu bauen, um reichlich Platz für die Nutzlast auf dem Fahrzeug übrig zu behalten.

Die Mehrzahl der bekannten Motorkonstruktionen zeigt eine Bauart, bei der durch Vereinigung mehrerer Zylinder zu einem Gussstück und durch Weglassung des Lagers zwischen den beiden Zylindern die Baulänge verkürzt ist. Es werden dann je zwei oder sogar drei Zylinder zu einem Block zusammengegossen. Es ergibt sich zugleich der Vorteil, dass der Wassermantel für beide Zylinder gemeinsam wird, dass die Wasserzu- und -ableitungsrohre nur ein-

Digitized by Google

mal auszuführen sind, und dass man auch die Gaskanäle gleich im Gussstück zu einer gemeinsamen Oeffnung vereinigen kann. Es sind also eine ganze Reihe Vereinfachungen mit dieser Ausführung verbunden.

Allerdings wachsen dabei die Beanspruchungen der Kurbelwelle. Die Zapfendurchmesser werden etwas grösser, da die freitragende Länge wächst. Um diese Länge möglichst klein zu halten, geht man gewöhnlich mit beiden Endlagern nach der Mitte zusammen, macht die Schubstangen einseitig und legt die Kurbelzapfenmitten näher zusammen, als die Zylindermitten. Auf diese Weise werden die Zapfenabmessungen nicht unzulässig gross, auch die Deformationen der Welle sind noch kaum zu spüren. Die Kurbelzapfen und Lager müssen natürlich verhältnismässig kurz gehalten werden, man beansprucht die Lager mit den höchstzulässigen Werten hinsichtlich Reibungsarbeit. Oft hat man schon den Eindruck, dass hierin zu weit gegangen wird. Die Schmierung ist, wenn auch die Kurbeln ständig in das Ölbad des Kurbelgehäuses eintauchen, doch nicht immer so zuverlässig, dass ein momentanes Versagen ausgeschlossen ist. Dann ist aber die Gefahr der volltändigen Zerstörung des Lagers sehr gross. Man muss die Lagerflächen für die Schubstangen so gross als nur irgend möglich machen, um recht kleine Flächendrucke zu erzielen. Andere Rücksichten setzen dem aber leider sehr bald eine Grenze.

Ob es zweckmässig ist, mehr als zwei Zylinder in einem Gussstück zu vereinigen, erscheint fraglich. Die erwähnten Vorteile treten nicht in erhöhtem Masse auf, es stellen sich vielmehr eine Reihe Unzuträglichkeiten ein. Das Gussstück der Zylinder selbst wird recht schwierig, Fehlgüsse sind in grösserer Zahl zu befürchten, die zu erheblichen Verlusten Anlass geben können. Die Wasserverteilung innerhalb des gemeinsamen Wassermantels ist sehr unbestimmt und dürfte, wenn nur ein einziger Anschluss vorhanden ist, nicht immer genügen. Auch die Rohranschlüsse für die Gas- und Auspuffleitungen werden sich nur schwer zusammen giessen lassen, da die Zylinder jetzt in grösserer Entfernung von einander stehen. Es würden innerhalb der Wassermäntel längere Leitungen nach der gemeinsamen Öffnung erforderlich sein, die für den Guss sehr unbequem sind, und kaum eine Vereinfachung bedeuten. Man würde wahrscheinlich jeden Zylinder mit getrennten Rohranschlüssen ausführen müssen, die Zahl der Rohrverbindungen wäre also dieselbe wie bei 3 einzelnen Zylindern.

Auch an der Kurbelwelle treten grössere Schwierigkeiten auf,

Digitized by Google

wenn man mehr als zwei Zylinder in einem Stück giesst. Will man nur zwei Endlager verwenden, dann wird die freie Länge der Welle sehr erheblich; die Durchmesser der Zapfen wachsen, und es ergeben sich bedeutende Deformationen, die für die beiden äusseren Kurbeln recht fühlbar sein dürften, da sich deren Zapfen schief in den Schubstangenlagern zu stellen suchen. Auch würden, wenn man die Lager eng zusammenrückt zwei verschiedene Formen der Schubstangen nötig werden, eine symmetrische und eine unsymmetrische, was der Massenfabrikation hinderlich sein würde. Dies sind die Hauptgründe, weshalb bisher der Dreizylindermotor verhältnismässig selten ausgeführt worden ist. Man sieht sich genötigt, zwischen je zwei Triebwerke ein Lager einzubauen und die grössere Länge des Motors mit in Kauf zu nehmen. Bei dieser Lagerung rücken auch die Zylinder soweit auseinander, dass sich die Vereinigung zu einem Gussstück nicht mehr recht lohnt. In den meisten Fällen hat man deshalb einzeln stehende Zylinder verwendet. Bei vierzylindrigen Maschinen verwendet man fast stets zwei Paare von Doppelzylindern und stützt die Welle auf drei Lager.

Der in neuerer Zeit zu hoher Vollendung gelangte Kugellagerbau scheint in Bezug auf den Gesamtaufbau des Motors einen Fortschritt zu ermöglichen. Das moderne Kugellager als einreihiges Laufringsystem ohne Unterbrechung der Laufflächen ausgeführt, wird als Normalie in gleichmässiger Güte und verhältnismässig preiswert in den Handel gebracht. Die Eigenschaften dieser Laufringsysteme sind in fast jeder Beziehung für den Automobilmotor die denkbar günstigsten, und in den Grössen, die hier in Betracht kommen, sind die Fabrikationsschwierigkeiten sowohl der Kugeln als auch der Laufringe als überwunden zu betrachten. Die Laufringe werden gut passend auf die Welle aufgeschoben und erhalten höchstens eine Sicherung gegen seitliche Verschiebung. Erforderlich ist nur, dass der eine nicht festgeklemmte Laufring sich frei einstellen kann, und dass die Ausbohrungen für die äusseren Ringe alle gut konzentrisch sind.

Eine Abnutzung der Kugeln oder der Ringe ist so gut wie nicht vorhanden, es tritt also mit der Zeit auch kein Spiel ein. Die Schmierung ist die denkbar einfachste, es genügt eine Spur von Fett, um die Lager betriebsfähig zu erhalten. Von grösstem Wert für den Automobilbetrieb ist jedoch die Eigenschaft, dass die Lager von der ersten Minute an mit derselben Leichtigkeit laufen wie das beste eingelaufene Gleitlager, und dass beim jedesmaligen Ingangsetzen des Motors der Reibungskoeffizient der Ruhe nicht zu überwinden ist.

Digitized by Google

Auch gegen die unvermeidlichen Wellenverbiegungen sind die Laufringsysteme unempfindlich.

Die Kugellager haben für eine bestimmte Tragfähigkeit nur eine geringe Breite, die im wesentlichen bestimmt wird durch die zulässige Pressung zwischen dem aufgezogenen inneren Laufring und der Welle. Die Hebelarme, die bei der Biegung der Welle in Betracht kommen, werden also gegenüber den Gleitlagern erheblich kürzer und damit liegt eine Möglichkeit vor, auch bei den Kurbelwellen der Motoren günstigere Verhältnisse zu schaffen. Es sind allerdings bisher wenig Fabriken dazu übergegangen, die Kurbelwellen auf Kugellagern laufen zu lassen. Es existiert infolge der Massenwirkung beim Kurbelwellenlager keine Stelle, die vollständig druckfrei wäre. Die Verwendung der früher in den Handel gebrachten Laufringsysteme mit einer Einfüllstelle, die stets in eine entlastete Stelle des Lagers zu setzen war, hatte deshalb ihre Bedenken. Bei den neueren Laufringsystemen fällt aber die empfindliche Einfüllstelle fort, die Ringe sind an keiner Stelle mehr geschwächt. Die Bedenken, sie als Kurbelwellenlager zu benutzen, sind deshalb mehr und mehr geschwunden.

Die Laufringe werden nur ungeteilt geliefert, es muss also die Form der Kurbel so beschaffen sein, dass die Ringe für in der Mitte befindliche Lager über alle Kröpfungen geschoben werden können, wenn man die Welle nicht teilen will. Das Überschieben der Laufringe hat aber seine grossen Schwierigkeiten namentlich dann, wenn Gegengewichte erforderlich sind. Beim Vierzylindermotor muss nun auf alle Fälle ein Mittellager eingebaut werden. Unzulässig ist es jedenfalls, dieses mittlere Lager als Gleitlager auszuführen, wenn die beiden Endlager Kugellager sind. Nach eingetretener Abnutzung des Mittellagers würde die Kurbelwelle unzulässig hoch beansprucht werden. Es bleibt also nur übrig, entweder die Welle in der Mitte zu teilen, oder das Kugellager so gross zu wählen, dass es über alle Vorsprünge der Welle hinweggleiten kann. Dieselbe Schwierigkeit besteht, wenn man die Kurbelzapfenlager durch Kugellager ersetzen will. Nach einem Patente von R. Conrad, Berlin, wird die Welle mit linsenförmigem Querschnitt so ausgeführt, dass alle Kugellager der Reihe nach bequem überzuschieben sind. Immerhin ist zu bedenken, dass die Kosten dieser Konstruktion nicht gering sind. Die erforderlichen grösseren Kugellager sind ganz wesentlich teurer als ebenbürtige Gleitlager, und die Verkürzung der Baulänge ist gering, da ja die Zylinder ihre Dimensionen beibehalten. Die Form der Welle wird einfacher, wenn man

Digitized by Google

im Kurbelzapfen die Gleitlager beibehält. Man sollte sie aber so reichlich wie nur irgend möglich dimensionieren. Weiter mit den Kugellagern zusammenzurücken als bis unter die Aussenflansche der Zylinder ist nicht gut ausführbar, da die Kolbenbahn frei bleiben muss. (Vgl. Fig. 8 und 9.) Dabei wird die Mittenentfernung schon kleiner als bei den Gleitlagern mit zusammengezogenen Mitten. Die Zapfendurchmesser sind durch die Entfernung der Lagermitten bestimmt, aber man kann jetzt die Auflagerfläche der Kurbelzapfenlager bedeutend grösser machen, als beim Gleitlager, auch wenn die Schubstangen wieder ganz symmetrisch ausgeführt werden.

Fig. 8.

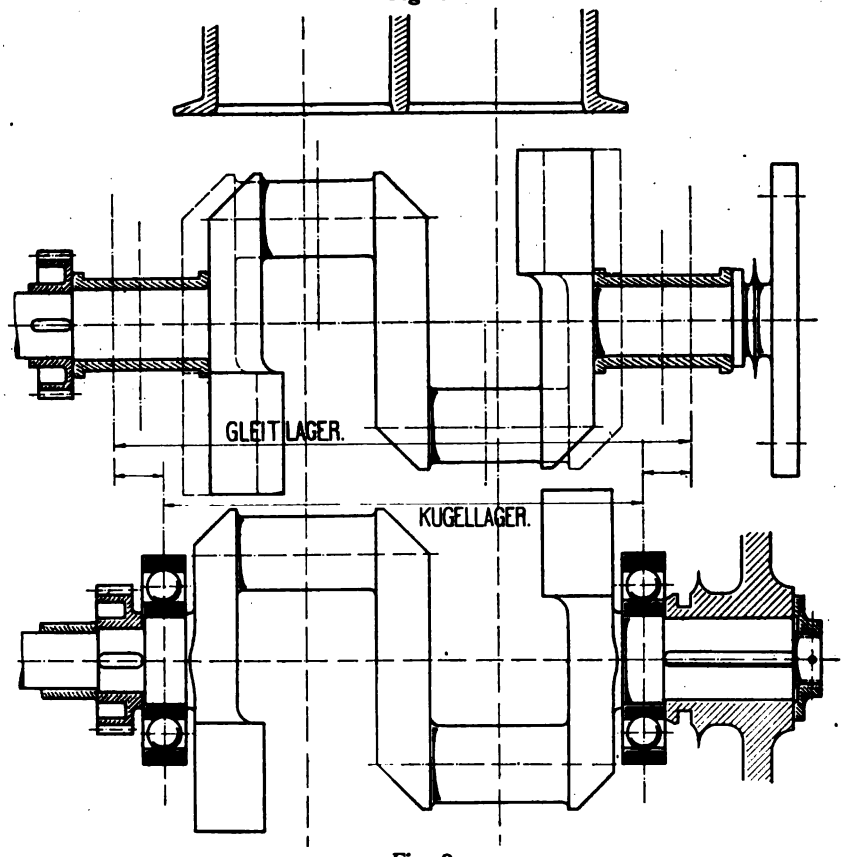


Fig. 9.

Der Hauptgewinn liegt bei der Verwendung der Kugellager in der Platzersparnis aussen. Die Welle wird nicht länger als die Baulänge der Zylinder trotz der langen Schubstangenlager.

Es wäre zu untersuchen, ob es möglich ist, mit Hilfe der Kugel-

Digitized by Google

lager auch einen Dreizylindermotor wie den Zweizylinder auszuführen, mit nur zwei Endlagern. Die Beanspruchungen sind ungünstig für die Welle, denn die Maximalbelastung tritt gerade in der Mitte auf. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieser hier erforderliche grosse Zapfendurchmesser bei allen anderen Triebwerken auszuführen wäre, im Interesse der Massenfabrikation. Man müsste also nur wegen des einen Mittelzylinders überall die reichlichen Dimensionen mit in Kauf nehmen. Natürlich wird man mit der Beanspruchung sehr hoch gehen, bis zu den äussersten Werten, die ein guter Nickelstahl ertragen kann. Für die kürzeren Stützweiten, also beim Ein- und Zweizylinder, kann man dann eventuell etwas billigeres und weicheres Material verwenden, entsprechend den überstarken Abmessungen. Auf diese Weise liesse sich auch hier der grössere Zapfendurchmesser rechtfertigen. Aber mit den hohen Beanspruchungen wachsen auch die Deformationen, die bei der grossen Stützweite doppelt fühlbar werden.

Für die 100 mm - Zylinderbohrung ergibt sich beim Dreizylindermotor ein Zapfendurchmesser von ca. 44 mm, bei einer Beanspruchung des Materials von 2000 kg/qcm. Auch die Kurbelarme werden nicht übermässig dick, die Welle sieht noch ganz proportioniert aus. Alle Kurbelzapfen sind gleich lang angenommen, wie bei dem Zweizylindermotor, die Reibungsarbeit hält sich dabei noch in mässigen Grenzen. Hinsichtlich der Festigkeit sind also die Verhältnisse noch wohl zu beherrschen. Die Kurbeln für Zweizylindermotoren würden mit einem wesentlich geringeren Material ausgeführt werden können, da die maximale Beanspruchung auf ca. 1100 kg/qcm herabsinkt.

Nicht so günstig stellt sich jedoch die Konstruktion, wenn man die Deformationen berücksichtigt. Schon unter der einfachen Annahme, dass die Kurbel als gerader Balken vom Kurbelzapfenquerschnitt betrachtet wird, der sich unter dem Einfluss der Mittellast durchbiegt, ergibt sich für die Welle eines Dreizylindermotors ca. 0,5 mm Durchbiegung in der Mitte; diese Annahme ist aber viel zu günstig, denn bei der Kurbelversetzung von 120 Grad werden die beiden äusseren Kurbeln zur Durchbiegung einen wesentlichen Beitrag liefern, indem ihre Kurbelarme auf Verdrehung beansprucht sind. Voraussichtlich steigt die Durchbiegung auf das Doppelte, also bis zu ca. 1 % des ganzen Hubs an, was sicherlich sehr bedenklich ist. Die äusseren Kurbelzapfen würden sich schief stellen und bei ihrer grossen Länge natürlich die Schubstangenlager stark einseitig beanspruchen. Die Kugellager geben auch keine Einspannungsmomente ab, was bei den

Digitized by Google

Gleitlagern doch noch immer etwas der Fall ist; die äusseren Enden der Welle werden also an allen Deformationen in voller Grösse teilnehmen und ein Vibrieren der aussen befindlichen Räder usw. bewirken. Das ist ein grosser Nachteil der zunächst so günstig scheinenden Konstruktion. Zieht man noch die bereits erwähnten Vor- und Nachteile der Vereinigung mehrerer Zylinder in einem Gussstück in Rücksicht, so erscheint die Konstruktion kaum empfehlenswert. Die mehrzylindrigen Maschinen nur aus einzelnen Zylindern zusammenzusetzen, dürfte nicht ratsam sein, obwohl diese Anordnung immer noch viele Anhänger besitzt. Der Doppelzylinder weist tatsächlich eine Reihe bedeutender Vorteile auf, die man sich nicht gern entgehen lassen wird.

Will man beim Dreizylinder mit einzelstehenden Zylindern Kugellager anwenden, so scheint es, dass die Wellenteilung vorteilhaft ist, da Gegengewichte an den Enden zu berücksichtigen sind. Diese müssten, um die Ringe überschieben zu können, besonders angesetzt werden, was immer eine etwas schwierige Verbindung gibt, da grosse Kräfte zu übertragen sind. Die Wellenverbindung, die innerhalb des Lagers liegen müsste, hat dagegen noch Drehmomente aufzunehmen. Ausserdem spart man bei getrennter Welle doch immerhin noch etwas an Platz, weil die Ecken zum Überführen des Kugellagers wegfallen können. (Vgl. die Kurbelwelle Fig. 10) Man

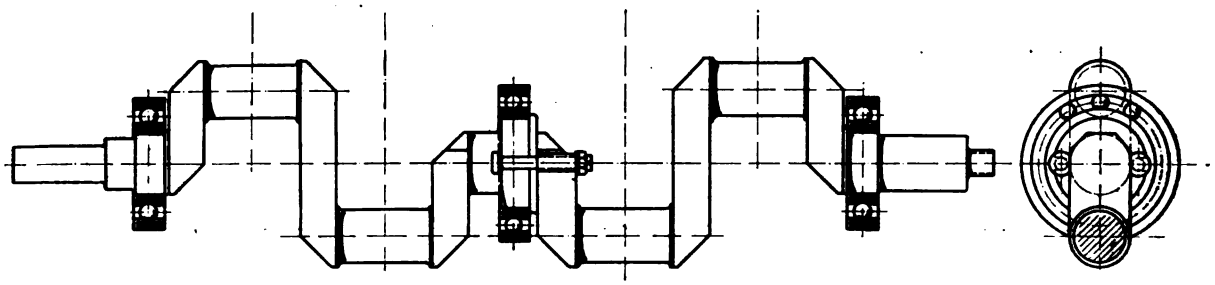


Fig. 10.

würde also beim Dreizylindermotor die Welle teilen, die Gegengewichte aber mit der Welle aus einem Stück herstellen. Die konstruktive Durchführung dieser Verbindung ist nicht allzu schwierig; drei Bedingungen sind zu erfüllen, gute Zentration, Spannungsverbindung gegen Drehmomente, und schliesslich noch Festspannung des Kugellagers. Mit einem einfachen Konus lässt sich das nicht erreichen; vielleicht ist es das einfachste, die Wellenenden zylindrisch ineinander zu stecken und dabei das Kugellager festzu-

Digitized by Google

klemmen, gegen die Drehmomente aber eine Tangentialkeilverbindung vorzusehen. Vgl. Fig. 11.

Bei Vier- und Sechszylindermotoren ist das Überschieben der Laufringe das Richtige (Fig. 10), die Ringe werden auch nicht allzu gross, obgleich auch dies nicht viel schaden würde, da die Kugellager von der Geschwindigkeit so gut wie unabhängig sind.

Der unmittelbare Vergleich der beiden Wellen (Fig. 8 und 9) lässt die Vorteile der Kugellager am besten erkennen. Trotz erheblicher Verbreiterung der Kurbelzapfen wird die Gesamtlänge kleiner; das Triebrad für die Steuerung rückt näher an die Zylinder heran, braucht also keine grosse Kapsel vorn am Motor. Die Schwungradbefestigung erfolgt zweckmässig mit Tangentialkeilen,

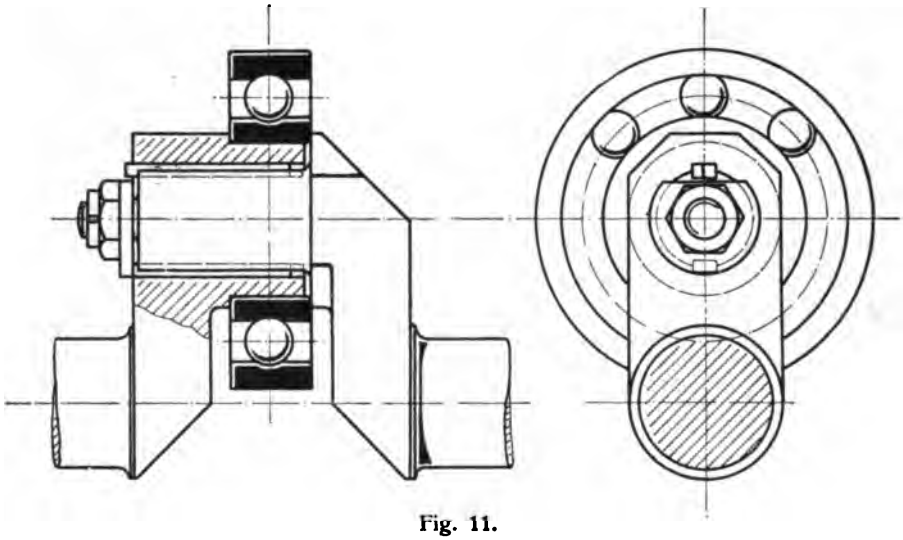


Fig. 11.

da die gewöhnliche Befestigung an einer grösseren Scheibe ja nicht anwendbar ist. Die Schraube zum Halten des Schwungrades klemmt gleichzeitig den inneren Ring des Kugellagers fest, ebenso wie auf der anderen Seite der Laufring gleichzeitig mit dem Zahnrad durch eine Schraube oder dergl. festgepresst wird.

Besondere Vorsicht ist hinsichtlich etwa auftretender Axialdrucke zu beobachten. Wenn auch die Kugellager einen geringen seitlichen Druck aufnehmen können, in dem Falle eines reinen Stützlagers bis zu einem Drittel der zulässigen Traglagerbelastung, so ist doch hier bei den Kurbelwellen möglichst jeder seitliche Druck auszuschalten. Auch schon aus dem Grunde, dass die Kugellager stets ein geringes seitliches Spiel besitzen, das ein Hin- und Herwandern der Welle

Digitized by Google

zur Folge haben würde, soweit nicht die Schubstangenköpfe dies verhindern, ist es besser, ein besonderes Spur- oder Ringlager in der Konstruktion vorzusehen. Die übliche Konstruktion der im Schwungrad befindlichen Reibungskuppelung ist allerdings derart, dass für gewöhnlich kein äusserer Druck übrig bleibt, sondern alle Anpressungskräfte innerhalb der Kuppelung in sich aufgehoben werden. Im ausgerückten Zustande bleibt jedoch von der Kuppelung eine Kraft gleich der Federkraft frei, die meist gegen den Motor gerichtet ist, und von dessen Welle aufzunehmen ist. Diese Kraft wird am besten mit einem einfachen Kammlager aufgefangen, das dann auch gleichzeitig zur Begrenzung des achsialen Spieles der Welle dient. In Fig. 9 ist eine Eindrehung in der Nabe des Schwungrades vorgesehen, in die sich vom Gehäuse her ein zweiteiliger Flanschring legen soll, der alle achsialen Kräfte aufnehmen kann. Auf besonders gute Schmierung dieses Lagers ist natürlich Rücksicht zu nehmen. Für die Kugellager ist es unbedingt erforderlich, dass genügender Platz zum freien Einstellen der äusseren Laufringe in den Fassungen übrigbleibt.

Es ist vielleicht zu erwarten, dass auch bei den Kurbelwellen die allgemeine Einführung von Kugellagern erfolgt. Bedenken hinsichtlich der Zuverlässigkeit liegen bei den hier in Frage kommenden Dimensionen kaum vor. Wenn man ferner das mühsame Einpassen der Gleitlager in Rücksicht zieht, dürfte die Preisfrage zugunsten der Kugellager ausfallen. Dazu kommt die schnelle Auswechselbarkeit und die Reserve, die in der Spezialfabrikation dieser Lager begründet ist.

Das Triebwerk.

Die Ausbildung des Triebwerkes der kleinen schnellaufenden Motoren hat sich in Bezug auf die Gewichtsverminderung bereits bis an die Grenze des Erreichbaren entwickelt. Geringstes Gewicht ist natürlich die erste Bedingung, da bei den hohen Tourenzahlen die Massendrucke sonst unzulässig gross werden würden. Auf einen besonderen Kreuzkopf muss man verzichten. Der Kolben wird so lang ausgebildet, dass er genügende Fläche zur Aufnahme der Seitendrucke bekommt. Es ist zweckmässig, dem Kolbenboden eine schwache Wölbung zu geben; man kommt dann mit dünneren Wandstärken aus, ohne dass die Oberfläche merklich vergrössert würde. Rücksicht ist zu nehmen auf Deformationen, die bei der Bearbeitung auftreten können. Um die kreisrunde Form namentlich beim Eintreiben oder Einspannen des Kolbenzapfens genau zu erhalten, ist es zweckmässig, kreisförmige Rippen anzuordnen, die allerdings sehr dünn sein müssen, um das Gewicht nicht unnötig zu erhöhen. Ebenso

Digitized by Google

sind die Augen von der Lagerung des Kolbenzapfens gegen den Boden hin gut zu versteifen. Die Anordnung einiger Schmiernuten am äusseren Umfang erscheint notwendig. Kolbenringe, drei oder besser noch vier, sind am besten von Spezialfabriken zu beziehen.

Die Schubstange erhält ein I-Profil und wird in den meisten Fällen aus weichem Stahl gepresst; bearbeitet werden nur die Lagerstellen. Das Lager im Kolben kann ohne jede Nachstellvorrichtung ungeteilt hergestellt werden, mit einer Bronzebüchse oder besser noch mit einer gehärteten Stahlbüchse, vorausgesetzt, dass auch der Kolbenzapfen dieselbe gleichmässig harte Oberfläche besitzt. Das Kurbelzapfenlager wird am besten als Weissmetalllager ausgeführt, kann aber so einfach als nur irgend möglich gehalten werden. Fast stets wird ein verkleinertes Abbild der Schubstangen von Gasmaschinen ausgeführt, Lagerschalen aus Rotguss mit Weissmetallfütterung werden eingesetzt, Ränder zur Führung und Zentrierung des Deckels eingedreht und alle die Feinheiten angebracht, die bei grösseren Schubstangen nötig werden. Auf diese Weise werden die Schubstangen allerdings sehr teuer, und es ist deshalb bei den kleinen Dimensionen durchaus zulässig, auf besonders eingesetzte Lagerschalen zu verzichten. Das Weissmetall kann unter entsprechender Vorbereitung direkt in den Schaft der Schubstange und in den Deckel eingegossen werden. Ist eine grössere Abnutzung eingetreten, dann wird die Stange neu ausgegossen, was ohne jede Schwierigkeit geschehen kann, oder sie wird durch eine neue ersetzt. Die alte wird von der Fabrik zurückgenommen, die sie wieder herrichten und in einem neuen Motor verwenden kann. Das bedeutet schon eine wesentliche Vereinfachung in dem Bau der Schubstange.

Die durchweg sehr breiten Köpfe der Stange erfordern natürlich eine entsprechende Ausbildung für eine gute Druckübertragung. Auch auf die Deckelschrauben ist sehr viel Aufmerksamkeit zu verwenden, da sie unter allen Umständen betriebssicher sein müssen. Ein Bruch einer solchen Schraube hat sehr oft die völlige Zerstörung des Motors zur Folge.

Man hat bei den sehr breiten Stangenköpfen mehrfach vier Schrauben ausgeführt, während viele Firmen deren zwei für ausreichend halten. Gutes, weiches Material und feines Gewinde gewähren genügende Sicherheit bei sorgfältiger Arbeit. Wie die Fig. 12 zeigt, lässt sich eine für das Pressen geeignete Form leicht ausbilden. Die Flanschen des I-förmigen Querschnitts können zu einer guten Druckverteilung weit über die Länge des Kurbelzapfens

Digitized by Google

hingezogen werden. Infolge des Fehlens besonderer Lagerschalen wird der ganze Stangenkopf verhältnismässig dünn.

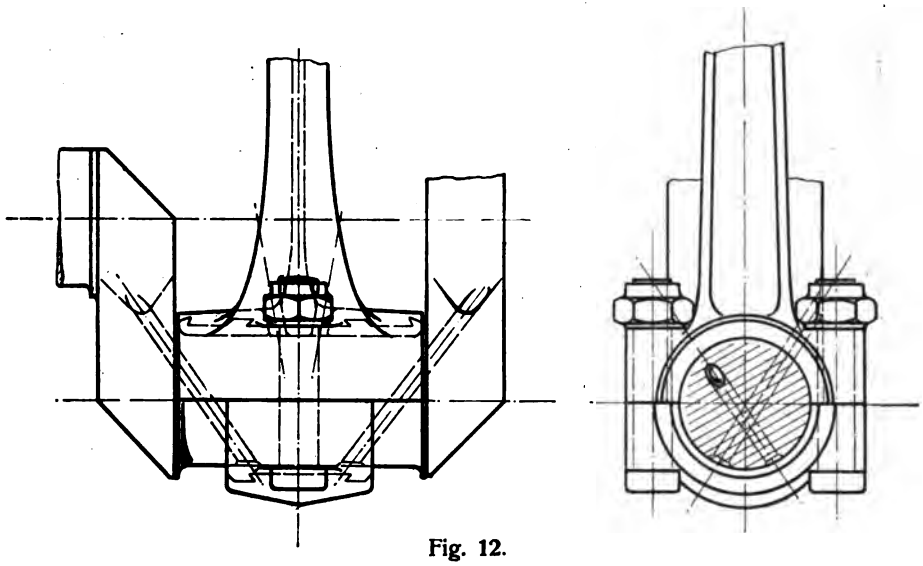


Fig. 12.

Die Schmierung.

Infolge der Kleinheit aller Teile und der schnellen Bewegungen ist es nicht möglich, jedes einzelne Lager und jede einzelne Reibfläche mit einer eigenen Schmiervorrichtung zu versehen. Der Motor soll so ausgebildet werden, dass möglichst nur von einem einzigen Vorratsbehälter aus sämtliche Lager mit Schmieröl versorgt werden. Die Selbstschmierung aller Triebwerksteile durch ein im Kurbelgehäuse eingeschlossenes Ölbad ist eine Grundbedingung. Das Öl wird bei den hohen Tourenzahlen derart durcheinandergepeitscht und zerstäubt, dass es nebelförmig bis in alle Ecken und Winkel des Kurbelgehäuses eindringt. Dieser Ölstaub reicht für die Schmierung aller Triebwerks- und Steuerungsteile aus, die sich in dem Kurbelgehäuse befinden, die Kolbenbahnen bekommen genug Öl, unter Umständen sogar zuviel. Schwierigkeiten macht fast allein der Kurbelzapfen, der alles Öl infolge der starken Zentrifugalkraft stets von sich wegschleudert. Auch die langen Endgleitlager müssen besonders in dieser Hinsicht beachtet werden, da das Öl nur von einer Seite eindringen kann. Allerdings kommt hier der Umstand zu Hilfe, dass im Kurbelgehäuse stets etwas Überdruck vorhanden ist, der das Öl durch die Lager nach aussen presst. Bedenklich bei der ganzen Einrichtung ist nur, dass immer

Digitized by Google

wieder das schon gebrauchte Öl zur Schmierung benutzt wird, und dass kleine Metallteilchen oder sonstige Verunreinigungen zwischen die Lager gelangen können. Ein öfteres Wechseln der Ölfüllung namentlich bei den neuen Maschinen ist daher unerlässlich. Man hat für die Hauptlager vielfach eigene Ölleitungen vorgesehen, die von einem gemeinsamen Hauptöler stets frisches Öl nach den einzelnen Lagern gelangen lassen, das dann erst in das Kurbelgehäuse dringt. Auf diese Weise bekommen die Hauptlager stets reines Öl und die Gefahr der Zerstörung durch Fremdkörper ist erheblich gemindert. Für die Kurbelzapfen bleibt natürlich die Sache dieselbe; ausserdem ist die Einzelzuführung des Öls nach den verschiedenen Lagerstellen recht unbequem wegen der zahlreichen Rohrleitungen. Rohrleitungen sind stets eine Quelle von Störungen, die Rohrverbindungen sind nur mit grosser Mühe und Sorgfalt dauernd dicht zu erhalten. Im allgemeinen dürfte es daher vorzuziehen sein, wenn irgend angängig, nur die gemeinsame Gehäuse-Schmierung einzurichten. Die Verwendung von Kugellagern an der Kurbelwelle macht ohnehin eine besondere Schmierung ganz überflüssig und es bleiben eigentlich nur die Kurbelzapfenlager, die Aufmerksamkeit beim Entwurf erfordern. Am besten ist es, eine Innenschmierung einzurichten, derart, dass das Öl durch die Zentrifugalkraft dem Zapfenlager zugeführt wird. Alle anderen Methoden, Schaufeln am Schubstangenkopf, die aus dem Ölbad das Öl aufnehmen sollen und dergl. werden kaum dieselbe Wirkung haben. Man wird sie nicht ausser Acht lassen, denn es kann in Bezug auf diesen Punkt eigentlich nie zuviel getan werden. So wird man insbesondere im Schubstangenkopf grössere Öffnungen anbringen, die von der Druckfläche des Lagers wenig wegnehmen, aber dem Ölstaub einen direkten Zutritt zum Zapfen gestatten. Auch eine Bohrung für das von dem Schaft der Schubstange ablaufende Öl wird man mit Vorteil anbringen. Jedenfalls aber ist auf die Innenschmierung das Hauptgewicht zu legen. Sie soll so einfach wie möglich sein, besonders an die Welle angeschraubte oder -geklemmte Blechteile müssen möglichst vermieden werden, da sie nie sicher sind und bei einem Bruch das grösste Unheil im Gehäuse anrichten können. An einfachsten dürfte es wohl sein, wenn man, wie in Fig. 12, von dem Kurbelarm eine Bohrung nach dem Zapfen führt. Kleine, flache Einfräsungen an der Kurbel leiten das sich niederschlagende Öl nach der Öffnung des Kanals hin. An Stelle der Öffnungen im Stangenkopf kann auch die Form des Deckels entsprechend ausgebildet werden. Da auf diesen nur der verhältnismässig kleine Massendruck des

Digitized by Google

Kurbeltriebes kommt, ist ohnehin nicht die volle Auflagerfläche nötig. Eine Ausführungsform des Deckels ist aus Fig. 12 zu ersehen.

Für alle anderen gleitenden Teile genügt meist der Ölstaub im Kurbelgehäuse ohne weiteres. Für den Kolbenzapfen wird man natürlich auch etwas Öl von den Nachbarflächen zu sammeln suchen, das durch den hohlen Zapfen und von aussen durch Nuten und kleine Bohrungen möglichst nach innen geführt wird. Auch im Kolben wird man noch Schmiernuten anbringen, wie bereits erwähnt.

Auf diese Weise ist es möglich, die Schmierung so einfach zu gestalten, wie es für den Automobilbetrieb wünschenswert ist. Man kommt mit wenigen Ölleitungen aus, die von dem Ölbehälter nach dem Kurbelgehäuse führen. Die Schmierung lässt sich ausserdem ganz automatisch machen, wenn man das Öl durch den Druck der Auspuffgase oder durch eine mechanisch vom Motor angetriebene Ölpumpe nach dem Motor befördern lässt. Die Bedienung beschränkt sich demnach auf die Kontrolle über das Funktionieren und auf das Nachfüllen des verbrauchten Öles.

Digitized by Google

Die Gestaltung des Zylinders.

Ventilanordnungen.

Wenn man die grosse Zahl ausgeführter Konstruktionen von Motoren in ihrer Gesamterscheinung und ihrer Anpassung an das Fahrzeug beurteilt, so findet man, dass die Anordnung der Ventile ausschlaggebend ist. Sie beeinflusst nicht nur die Ausbildung des Zylinders, sondern auch der Steuerung, weiterhin die Rohranlage, die Anordnung der Nebenapparate, und vor allem die allgemeine Zugänglichkeit. Es muss deshalb vor Entscheidung für irgend eine Ventilanordnung sehr sorgfältig geprüft werden, welche Folgen sie hat, und es ist dies um so schwieriger, da die Zahl der Rücksichten sehr gross ist. Die Entwickelung des Automobilmotors hat auch gezeigt, dass in dieser Beziehung eine gewisse Unsicherheit besteht; viele Firmen sind von den ursprünglichen Anordnungen ganz erheblich abgewichen, dann teilweise wieder zu ihnen zurückgekehrt, ohne eine definitive Entscheidung.

Auf alle die verschiedenen Konstruktionen nichtstehender Bauart kann überhaupt nicht eingegangen werden — sie sind nahezu vollständig von der stehenden verdrängt worden, die sich in der Praxis als die beste erwiesen hat.

Ursprünglich verwendete man in Anlehnung an die kleineren Arten ortfester Maschinen selbsttätige Einlassventile, und steuerte nur die Auslassventile. Meist wurde die Anordnung einer an dem stehenden Zylinder seitlich herausgebauten Ventilkammer gewählt, in der übereinander die beiden Ventile angebracht waren, das Auslassventil direkt über dem Stössel der Steuerung, das Einlassventil achsial darüber hängend. Die Anordnung war einfach und gut, schon besser als die älteste, bei der jedes der beiden Ventile in einer besonderen Kammer oder Auswölbung des Zylinderkopfes sass.

Die Anordnung mit einer gemeinsamen Ventilkammer blieb lange Zeit die herrschende, sie war auch insofern recht zweckmässig, als bei Mehrzylindermotoren nur eine Steuerwelle notwendig war, die

Digitized by Google

sämtliche Ventile betätigte. Sie wurde erst verdrängt, als die Firma Daimler dazu überging, auch das Saugventil zu steuern. Dieses Vorgehen fand sehr viel Anhänger und verbreitete sich rasch, doch mag hierbei auch die Mode viel beigetragen haben. Noch heute ist man über die Notwendigkeit, auch die Saugventile zu steuern, nicht überall unbedingt einig. Die Komplikation, die Vermehrung der kleinen Teile und des Gewichts sind Punkte, die manchem mit Recht als keine Verbesserung der Maschine erscheinen. Doch sind tatsächlich mit der Steuerung der Einlassventile Annehmlichkeiten verbunden, die gerade beim Fahrzeugbetriebe ein entscheidendes Wort mitsprechen. Abgesehen von der exacteren Wirkungsweise, die eine vollkommnere Füllung des Zylinders mit frischem Gemisch gewährleistet, ist es vor allen Dingen die geräuschlose Arbeitsweise dieser Ventile. Beim gesteuerten Ventil fällt das lästige tiefe Grunzen fort, das von starken Pendelungen der Luftsäule, stossweisen Beschleunigungen und Verzögerungen herrührt. Der Motor arbeitet bei allen Tourenzahlen gleichmässig ruhig, die heftigen Pulsationen der angesaugten Luftsäule werden vermieden, die bei dem sich stets verspätet öffnenden selbsttätigen Einlassventil unvermeidlich sind. Die Leistung des Motors lässt sich in sehr weiten Grenzen regulieren und schliesslich hat das gesteuerte Ventil den unbestreitbaren Vorzug, dass es sehr dauerhaft und fest ausgeführt werden kann. Aus Gründen der Massenträgheit muss das automatische Ventil sehr leicht gehalten werden, es wird zu einer zierlichen Konstruktion mit dünnem Ventilteller, schwacher Spindel und empfindlichen Federbefestigungen, die eine reiche Quelle von Betriebsstörungen sind. Von diesen Nachteilen ist das gesteuerte Ventil frei. Es kann den dynamischen Beanspruchungen gemäss kräftig ausgeführt werden, der Einfluss der grösseren Masse ist durch die Anwendung starker Federn unschädlich zu machen. Diese erhöhte Betriebssicherheit gibt allein schon die volle Berechtigung zur Verwendung des gesteuerten Ventils, trotz der Komplikation der Steuerung. Es dürfte dies auch der hauptsächliche Grund sein, dass sich das gesteuerte Ventil so schnell Verbreitung verschafft hat.

Die erste Anordnung A ist in Figur 14 schematisch dargestellt. Es ist die ursprünglich von Daimler gewählte Bauart. Die Ventile liegen zu beiden Seiten des Zylinders, jedes in einer eigenen Ventilkammer und von einer eigenen Steuerwelle angetrieben. Diese symmetrische Form hat sich sehr viele Freunde erworben, sie schien lange Zeit als definitive Anordnung fast überall anerkannt zu werden.

Digitized by Google

Die doppelte Ausführung der Steuerwelle ist natürlich eine unangenehme Zugabe. Manchem Konstrukteur mag sie als überflüssig erschienen sein, denn bald zeigten sich hier und da Versuche, mit nur einer Steuerwelle auszukommen. Man legte die beiden Ventile auf eine Seite des Zylinders nebeneinander, und betätigte sie mit nur einer Steuerwelle. Diese Anordnung B, Fig. 14, ist von hervorragenden Konstrukteuren besonders Frankreichs angenommen worden, sie bedeutet gegenüber der ersten sicher eine Vereinfachung, wenn natürlich auch gewisse Unbequemlichkeiten entstehen. Später sind

Anord. A.

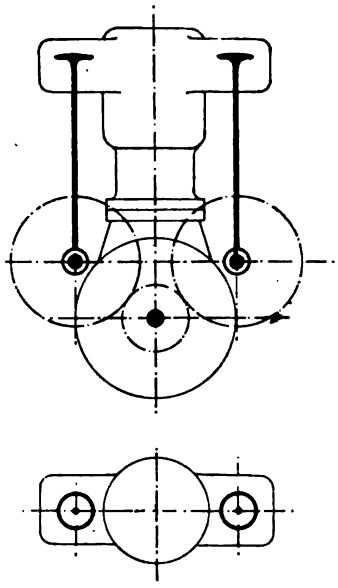


Fig. 13.

Anord. B.

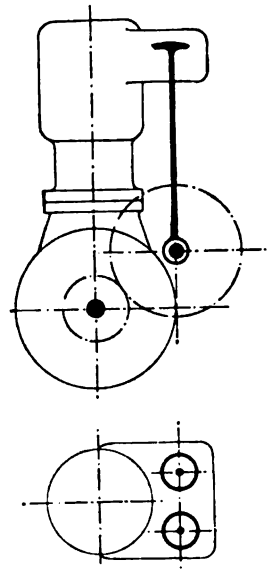


Fig. 14.

nun neben diesen beiden Anordnungen noch weitere aufgetaucht, die sich hauptsächlich von den ersten beiden durch die Verwendung hängender Ventile auszeichnen. Es war wiederum zuerst Daimler, der im Jahre 1903 Motoren auf den Markt brachte, die ein hängendes gesteuertes Einlassventil mitten auf dem Zylinder aufwiesen, während das Auslassventil an der alten Stelle in einer seitlichen Ventilkammer verblieb. Diese Anordnung C, Fig. 15, mag auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass sie auch in Rücksicht auf eine Regulierungsmethode gewählt wurde, die, auf veränderlichem Ventilhube beruhend, ein längeres Gestänge zur Anbringung der Verstellmechanismen benötigte.

Digitized by Google

Nicht lange danach entstand die Anordnung D, Fig. 16, die eine weitere Ausbildung des Bestrebens nach Gewichtsverminderung verrät; sie verwendet nur im Deckel hängende Ventile, die ähnlich der Anordnung A von 2 Steuerwellen betätigt werden. Ebenso wie die Anordnung B ist diese Form dann schliesslich noch vereinfacht worden nach Fig. 17, Anordnung E, bei der die im Deckel befindlichen Ventile sämtlich nur durch eine Steuerwelle bedient werden.

Die ausgeführten Anordnungen sind die hauptsächlichsten, die beim stehenden Automobilmotor vorkommen. Es wäre höchstens noch die vom automatischen Ventil her übernommene Anordnung

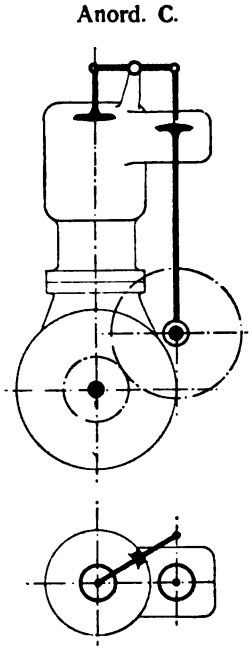


Fig. 15.

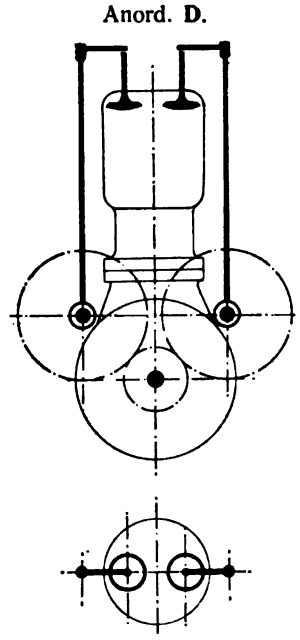


Fig. 16.

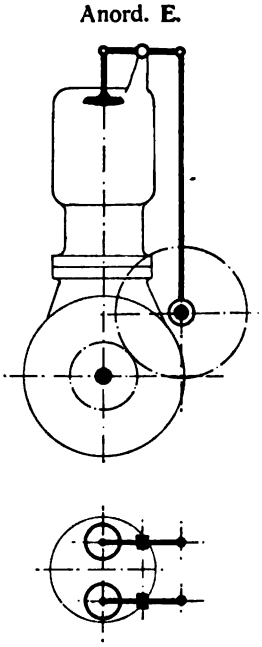


Fig. 17.

mit übereinanderstehenden Ventilen zu erwähnen. Ähnlich der Anordnung C wird das obere Ventil durch eine Schwinghebelsteuerung betätigt; im allgemeinen sind auch ihre Eigenschaften dieselben.

Alle Anordnungen haben gemeinsam, dass für Ein- und Auslass nur je ein einziges Organ benutzt wird. Bei Anwendung gesteuerter Ventile ist dies stets möglich, nicht so bei dem automatischen Ventil. Da der zulässige Hub bei diesem Ventil so gut wie konstant ist, war man für grössere Motoren häufig gezwungen, die Ventile zu teilen, oder ein mehrsitziges Ventil auszuführen.

Digitized by Google

Die Ventile.

Auf die Konstruktion selbsttätiger Ventile soll nicht eingegangen werden, da sie mehr und mehr in den Hintergrund treten. Einige Einzelheiten sind aus den Figuren zu entnehmen, die bei Gelegenheit der Ventilverschlüsse zu besprechen sind.

Das gesteuerte Ventil wird am besten als einfaches Kegelventil ausgeführt, mit kräftiger langer Spindel und kräftigem Teller. Die kegelförmige Sitzfläche gibt bei gleicher Hubhöhe gegenüber einer tellerförmigen stets eine etwas bessere Gasführung. (Fig. 18.)

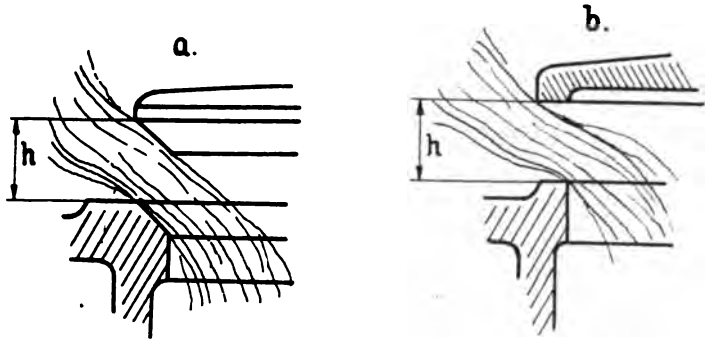


Fig. 18.

Das mehrsitzige Ventil, Fig. 19, hat den Nachteil, dass es nur gut als Teller-Ventil auszubilden ist. Die gleichzeitige Dichtung mehrerer Sitze erfordert sehr schmale Sitzflächen, die auf das sorgfältigste aufgeschliffen werden müssen. Die eintretenden Gase werden mehrere Male im rechten Winkel abgelenkt, es tritt eine Wirbelbildung auf, die allerdings zur innigen Mischung des Brennstoffes und der Luft beitragen wird. Doch ist dieser Vorteil nicht so hoch anzusetzen, da man die gute Mischung auch auf andere, einfachere Weise erreichen kann. Die Herstellung eines solchen mehrsitzigen Ventils ist zudem erheblich teurer als die des einfachen Kegelventils, der Sitzkörper selbst ist ein zartes Gussstück, und der Ventilteller erfordert ausser der vermehrten Dreharbeit noch das Fräsen oder Bohren der inneren Öffnungen. Dazu kommt noch, dass ein solches Ventil nur als Einlassventil zu gebrauchen ist. Als Auslassventil würde es bei der mangelnden Kühlung der inneren Sitzfläche bald verbrennen. Es geht somit die Gleichartigkeit der Ventile verloren, was den Forderungen der Massenfabrikation widerspricht.

Die wagerechte Anordnung der Ventile ist wohl so gut wie verschwunden, höchstens noch in Amerika zu finden. Die schnelle Abnutzung der Spindel und der Führung zwingt notwendigerweise

Digitized by Google

zum Übergang auf die senkrechte Anordnung, wie im Grossgasmaschinenbau.

Da die Ventile nur von oben in den Motor eingesetzt werden können, ergibt sich für das stehende und hängende Ventil als grundlegender Unterschied: das eine kann seinen Sitz, der ja stets enger ist als der Teller, direkt im Gussstück des Zylinders finden, das andere bedarf eines besonderen Einsatzes. Dieser Umstand spricht zu Gunsten des stehenden Ventils, wenn auch der bewegliche Sitz

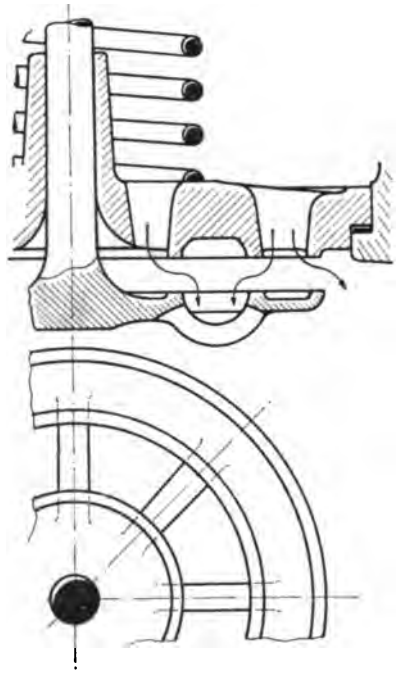


Fig. 19.

den Vorzug der Auswechselbarkeit besitzt; nicht wegen der geringeren Anzahl der Teile, sondern wegen der besseren Kühlung der Sitzfläche und der Spindel. Die Zahl der Teile bleibt in beiden Fällen gleich, da der Einsatz gleichzeitig als Verschlussvorrichtung dienen kann, die bei dem stehenden Ventil besonders hinzugefügt werden muss.

Eine gute Kühlung ist namentlich für das Auslassventil erforderlich; der Wassermantel soll daher so nahe wie möglich an den Sitz des Auslassventils herangezogen werden und das kalte Wasser sollte möglichst in der Nähe dieses Ventils zugeführt werden.

Die Spindelführung wird verschieden ausgebildet, teils direkt im

Digitized by Google

Zylinder eingegossen, teils besonders eingesetzt. Letzteres hat den Vorteil, eine Auswechselung der Führung zu gestatten, wird aber teurer und leicht ungenau. Im allgemeinen ist die Abnutzung in der Spindelführung nicht gross, es dürfte deshalb wohl zweckmässig sein, die Führung im Zylinder direkt einzugiessen. In Fig. 20 und 21 sind beide Möglichkeiten dargestellt. Die Figuren geben gleichzeitig noch an, in welcher Weise die Gasableitung erfolgen kann. Wenn die Kanäle mehrerer Ventile zu einer gemeinschaftlichen Öffnung innerhalb des Gussstückes vereinigt werden, dann sollte wenigstens die

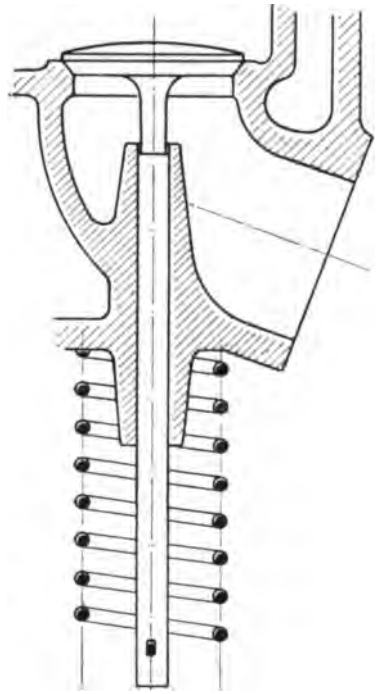


Fig. 20.

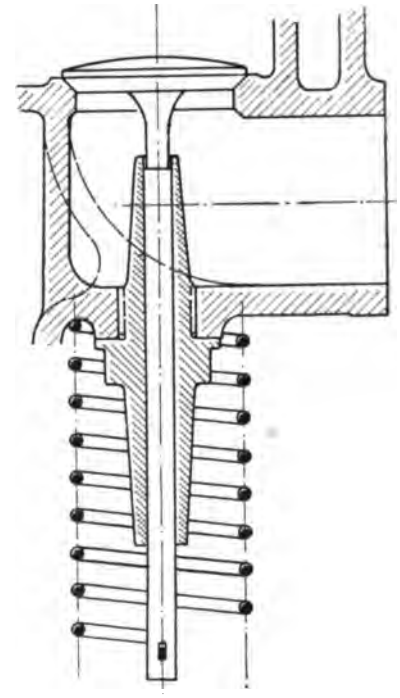


Fig. 21.

in Figur 21 gestrichelte Form gewählt werden, die dem Gasstrom eine bessere Führung gibt, als die für die Kerne vielleicht bequemere eckige Form. Werden die Gase direkt vom Ventil nach aussen geleitet, dann ist die in Figur 20 gegebene schräge Ableitung nach unten zweckmässig.

Beim stehenden Ventil ergeben sich somit kaum Schwierigkeiten. Weniger einfach sind die Verhältnisse beim hängenden Ventil, da hier die Verschlüsse gleichzeitig mitzubetrachten sind, die teilweise gemeinschaftlich mit den Gasleitungen ausgebildet werden. Der Form-

Digitized by Google

reichtum ausgeführter Konstruktionen ist ziemlich gross. Namentlich weisen die selbsttätigen Ventile eine Reihe guter Ausführungen auf, die für die gesteuerten Ventile als Vorbild dienen können.

Man kann im allgemeinen drei verschiedene Gruppen in der Ausbildung unterscheiden; 1. solche mit festen Gasleitungen und einem besonderen Ventilverschluss, der als Schraube oder Bügel ausgebildet ist; 2. Konstruktionen mit beweglichen Gasleitungen, die durch besondere Bügel oder dergleichen gehalten werden und 3. Konstruktionen, bei denen die Gasleitungen selbst als Verschlüsse

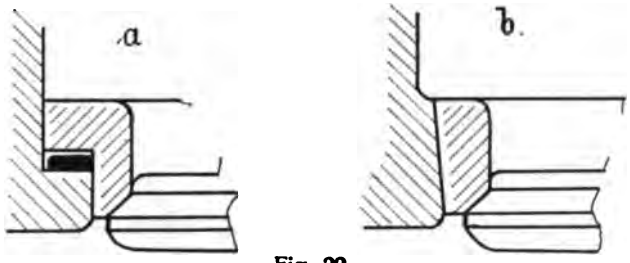


Fig. 22.

ausgebildet sind. Allen Anordnungen gemeinsam ist der herausnehmbare Sitz, der in der Regel konstruktiv mit der Spindelführung vereinigt ist und zur Abstützung der Ventilfeder dient. Der Einsatz muss gut abgedichtet werden durch einen elastischen Kupferring mit Asbesteinlage, oder durch Einschleifen der ebenen bezw. konischen Sitzfläche. (Fig. 22.) Wenn es sich darum handelt, die Sitzfläche möglichst intensiv zu kühlen, dann dürfte die Ausführung Fig. 22b. des besseren Wärmedurchganges wegen wohl vorzuziehen sein.

Für die drei Gruppen der Ventilverschlüsse sind in den Figuren 23 bis 26 ausgeführte Beispiele für hängende, automatische Ventile ge-

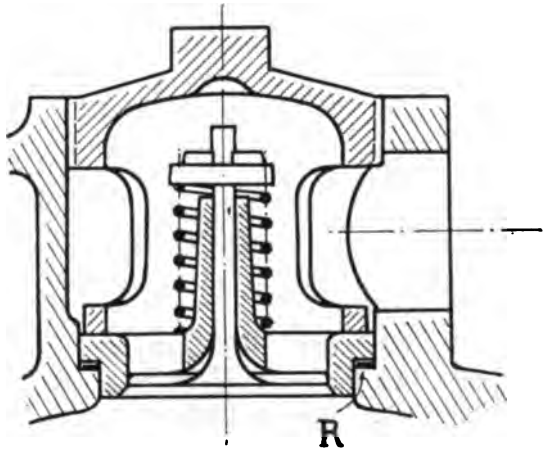


Fig. 23.

Digitized by Google

geben. Der in Fig. 23 dargestellte Schraubenverschluss ist der billigste und einfachste und entspricht allen Anforderungen an ein schnelles Öffnen. Ein Festbrennen der Gewindegänge des Verschlusses ist kaum

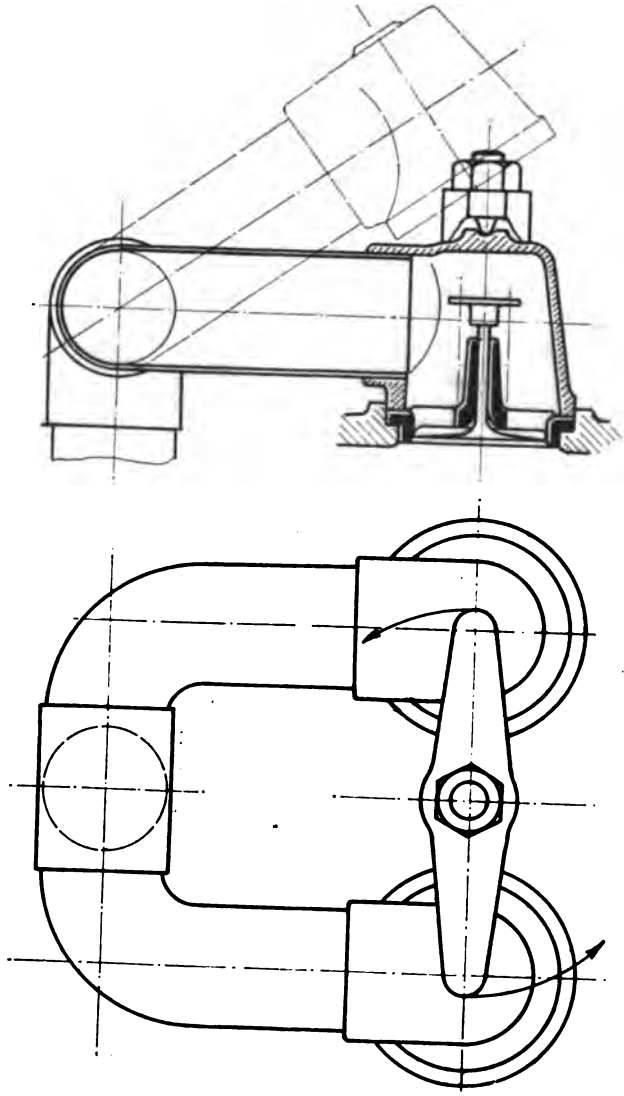


Fig. 24.

zu befürchten. Die Gasleitung führt seitlich durch das Zylindergussstück, sie ist für die Bedienung des Ventils in keiner Weise hinderlich. Die anderen Gruppen haben demgegenüber den prinzipiellen Nachteil, dass die Rohrleitungen

Digitized by Google

beweglich oder wenigstens leicht abnehmbar sein müssen. Will man zum Ventil gelangen, dann ist es stets erforderlich, erst das Zuleitungsrohr zu entfernen, es sind also ausser dem eigentlichen Ventilverschluss noch Flanschverbindungen zu lösen, oder das Rohr muss mit Stopfbüchsen und Gelenken versehen werden, die ein zur Seite drehen gestatten. Das ist ein Nachteil gegenüber der ersten Anordnung. Immerhin kann man auch hier noch leidlich gute Konstruktionen finden, die praktischen Wert haben.

Figur 24 deutet an, wie 2 Ventilzuleitungen mittels eines gemeinschaftlichen Bügels gehalten werden. Beim Öffnen ist es nur erforderlich, die Schraube zu lockern und den Bügel in der Pfeilrichtung um 90° zu drehen, worauf sich das gemeinschaftliche Zuleitungsrohr in der gestrichelt angedeuteten Weise hochklappen lässt. Die Rohrenden müssen natürlich als kräftige Körper ausgebildet sein, da sie den Anpressungsdruck zu ertragen haben.

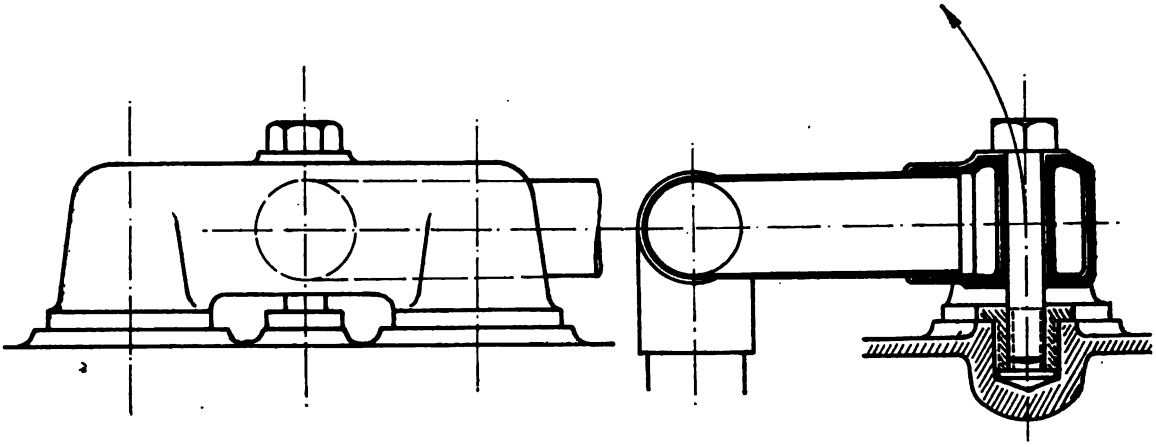


Fig. 25.

Einen Schritt weiter gehen die beiden anderen Beispiele, die beide der dritten Gruppe angehören, indem ein besonderer Bügel vermieden wird. Die Rohrenden sind derart ausgeführt, dass sie selbst als Druckbügel dienen. Nach Herausschrauben der in Fig. 25 gezeichneten Schraube lässt sich das Rohr ohne weiteres in der Pfeilrichtung hochklappen. Die andere Konstruktion, Fig. 26, amerikanischen Ursprungs, gewissermassen eine Vereinigung der Gruppen 2 und 3 erfordert nur ein Lüften der Schraube, um den kleinen Betrag a, worauf sich der obere Teil des Rohres ähnlich wie der Bügel in Fig. 24 um 90% drehen lässt. Bei b findet einfache zylindrische Führung statt, da eine absolute Dichtung unnötig ist.

Digitized by Google

Alle bisherigen Beispiele sind für nicht gesteuerte Ventile gegeben. Die Konstruktionen lassen sich natürlich auch auf gesteuerte hängende Ventile übertragen, indessen besteht dann immer die Schwierigkeit, dass auch noch die Steuerung zu entfernen ist, um zum Ventil zu gelangen. Am einfachsten wird die Anordnung nach Gruppe 1, da hier die Rohrleitungen nicht in Frage kommen. Immer aber ist es notwendig, mit der Steuerung von oben her in die Ventilhaube einzudringen, bezw. die Spindel selbst durch die Haube hindurchzuführen. Ein Abheben der Haube im Kreisbogen nach Art der Fig. 24 und 25 wird dann nur schwer möglich. Für das hängende gesteuerte Ventil bleibt die feste Rohrleitung allein richtig.

Eine weitere Veränderung ist notwendig, wenn das hängende Ventil als Auslassorgan verwendet werden soll. Die Feder darf dann

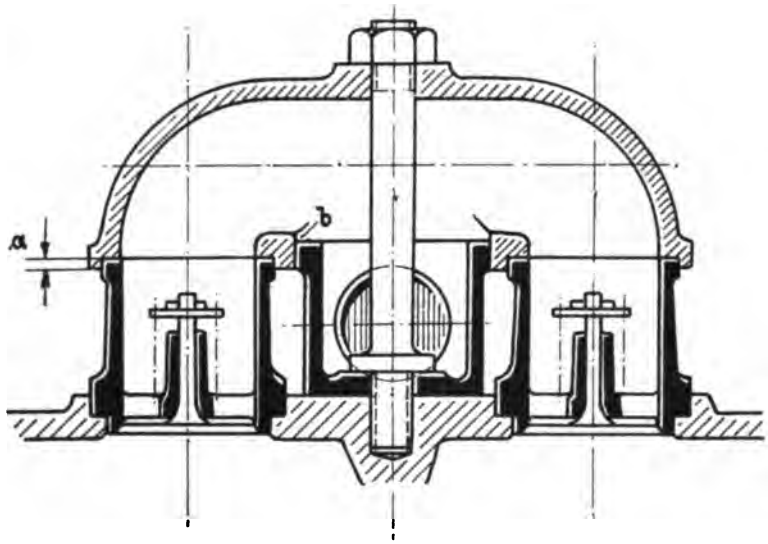


Fig. 26.

nicht in dem heissen Gasstrom liegen bleiben, sie muss nach aussen über die Leitung kommen. Dadurch wird die Bauhöhe des Ventils gross; allerdings liegt diese Feder sehr zugänglich und ist auf einen Blick leicht zu kontrollieren. Bei den kleinen Dimensionen des Einsatzkörpers ist eine eigene Kühlung leider nicht möglich, man muss also dafür Sorge tragen, dass die Berührungsflächen mit dem Zylinder möglichst gross werden und die Berührung durch Einschleifen recht innig wird.

Digitized by Google

Die Form des hängenden gesteuerten Ventils wird im allgemeinen dem Bilde Fig. 27 ähneln, das allen erwähnten Anforderungen entspricht. In dieser Form kann das Ventil für Ein- und Auslass benutzt werden, eine Auswechselung und Vertauschung aller Teile unter sich ist möglich, man braucht also nur eine Reserve mitzuführen; auch für die Massenherstellung sind die Formen günstig. Als Druckverschluss kann eine Bügelkonstruktion genommen werden, oder auch ein Schraubenverschluss nach Fig. 23.

Beim Vergleich mit dem stehenden Ventil tritt als Hauptnachteil

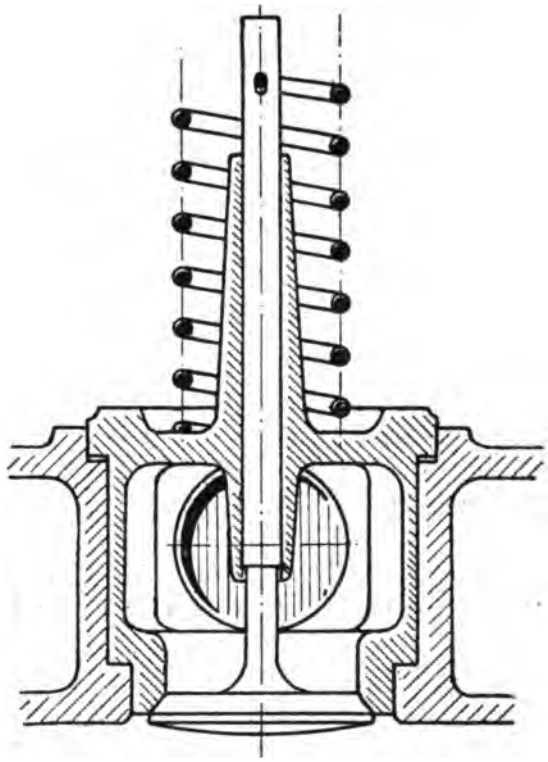


Fig. 27.

die erwähnte mangelhafte Kühlung der Sitzfläche und Spindelführung hervor. Dafür aber sind die Sitze leicht auszuwechseln und keine teuren Stücke, ihr öfterer Ersatz bietet keine Schwierigkeiten. Die Kontrolle und Übersicht über die im Deckel befindlichen Ventile ist bedeutend besser als bei der stehenden Anordnung. Im allgemeinen ist jedenfalls dem hängenden Ventil die Existenzberechtigung nicht abzusprechen, es kann mit dem stehenden wohl konkurrieren. Selbstverständlich kommen jedoch noch eine Reihe anderer Punkte in Frage, die

Digitized by Google

bei der Entscheidung für die eine oder andere Bauart wesentlich mitsprechen. Es sind dies hauptsächlich die Rücksichten auf die Steuerung, auf die später genauer einzugehen ist.

Zylinderkopf, Kühlung.

Die Figuren 13—17 zeigen bereits die annähernde Form des Zylinderkopfes und des Explosionsraumes. Das stehende Ventil braucht die seitliche herausgebaute Ventilkammer, das hängende Ventil kann im Zylinderdeckel angebracht werden.

Die Ventilkammer ist in der Regel von rechteckigem Querschnitt, ihre Höhe wird bedingt durch den angenommenen Ventilhub, die Ventiltellerdicke und den zum Umströmen der Gase notwendigen Raum, ihre Länge ergiebt sich aus dem Ventilabstand von Mitte Zylinder. Dieses Mass, einmal bestimmt durch die Dimensionen der Steuerwelle, dann aber durch die Notwendigkeit, den Wassermantel in genügender Stärke bis oben hin durchzuführen, wird stets verhältnismässig gross, so dass man gezwungen ist, die senkrechte Wandbegrenzung sehr dicht um das Ventil herumzuführen, nur um auf die notwendige Grösse des Kompressionsraumes herabzukommen.

Sehr häufig sind die Konstruktionen, bei denen die Entfernung vom Ventilrand bis zur Wand ringsum kleiner ist als der Hub des Ventils, so dass das Gas gezwungen wird, sich durch die eine freie Seite hindurchzudrängen. Immerhin aber lässt sich selbst ein Kompressionsverhältnis C: (V+C)=1:5 bei jeder Anordnung noch erreichen.

Die Anordnung A ergiebt in dieser Hinsicht das ungünstigste Verhältnis, der Kompressionsraum wird eine langgestreckte dünne Platte.

Etwas besser ist die Anordnung B, garkeine Schwierigkeiten bieten die Anordnungen mit nur hängenden Ventilen. Hier lässt sich ohne jede Mühe ein beliebiger Kompressionsgrad erzielen, man kann sogar daran denken, dasselbe Modell für den Betrieb mit Petroleum, Benzin und Spiritus zu verwenden, einfach durch Verlängerung der Schubstangen oder des Kolbens. Für sehr hohe Kompression ist die Anordnung hängender Ventile eine Notwendigkeit, da anders kaum der erforderliche Kompressionsraum zu erzielen ist. Welchen Einfluss die Form des Verbrennungsraumes auf die Zündgeschwindigkeit und damit verwandte Fragen hat, ist ja leider noch wenig erforscht. Jedenfalls aber darf angenommen werden, dass die Zündung und Verbrennung eines gewissen Quantums explosiven

Digitized by Google

Gases in einem kugelförmigen Raum schneller vollendet ist, als in einem langgestreckten, noch dazu wenn die Zündung an dem einen Ende dieses langen Raumes eingeleitet wird. Möglichst schnelle Verbrennung ist aber bei den Explosionsmaschinen anzustreben, deshalb sind alle Zylinderformen mit kugelähnlichem Explosionsraum vorzuziehen. Somit ist auch hier die Anordnung A im Nachteil, die Anordnungen D und E die besten, wenn auch der Unterschied nicht gross sein mag.

Mehr Bedeutung hat aber die Form des Explosionsraumes hinsichtlich der Kühlung. Nicht so sehr der thermische Wirkungsgrad, der bei grösserer Wärmeabführung durch das Kühlwasser sinken würde, kommt hierbei in Frage, als vielmehr die Ausbildung der notwendigen Rückkühlvorrichtungen. Das Kühlwasser übernimmt beim Automobilmotor nur die Rolle eines Wärmeträgers, der die in die Wandungen eindringende Wärme vom Zylinder weg nach einem geeigneten Kühler schafft, der sie an die atmosphärische Luft abgiebt. Die Grösse dieses Kühlapparats richtet sich nach der abzuführenden Wärmemenge. Eine Minderung dieser Wärmemenge hat demnach auch eine Verkleinerung des Kühlapparats zur Folge, und damit eine sehr erwünschte Gewichtsersparniss.

Wenn es gelingt, die Wärmemenge um 30% zu verringern, dürfte schon eine Gewichtsverminderung von 15—20 kg. bei einem Fahrzeug von etwa 20 PS möglich sein. Es bildet demnach dieser Punkt eine lohnende Aufgabe für den Konstrukteur.

Das Bestreben muss dahin gehen, die Oberfläche des Verbrennungsraumes zu vermindern. Hier spielt die Gefahr noch keine Rolle, die bei grossen Gasmaschinen von einschneidender Bedeutung ist, dass nämlich die Erhitzung im Innern der komprimierten Gasmenge zu hoch wird und zu Vorzündungen Veranlassung giebt. Dazu sind die Volumina noch zu klein. Auch die Erhöhung der mittleren Temperatur nimmt nicht allzu schnell zu, wenn weniger Wärme entzogen wird*).

Wieviel der erreichbare Unterschied der abgeführten Wärmemengen beträgt und welchen Einfluss man von der Form des Kompressionsraumes zu erwarten hat, zeigt ein unmittelbarer Vergleich von zwei Zylindertypen. Es seien die Ventilanordnungen A und D betrachtet, die das Extrem in diesem Sinne vertreten. Verglichen werden die während einer Explosion

*) Vgl. E. Meyer. Untersuchungen am Gasmotor. Mitteilungen f. Forschungsarbeiten. Heft 8.

Digitized by Google

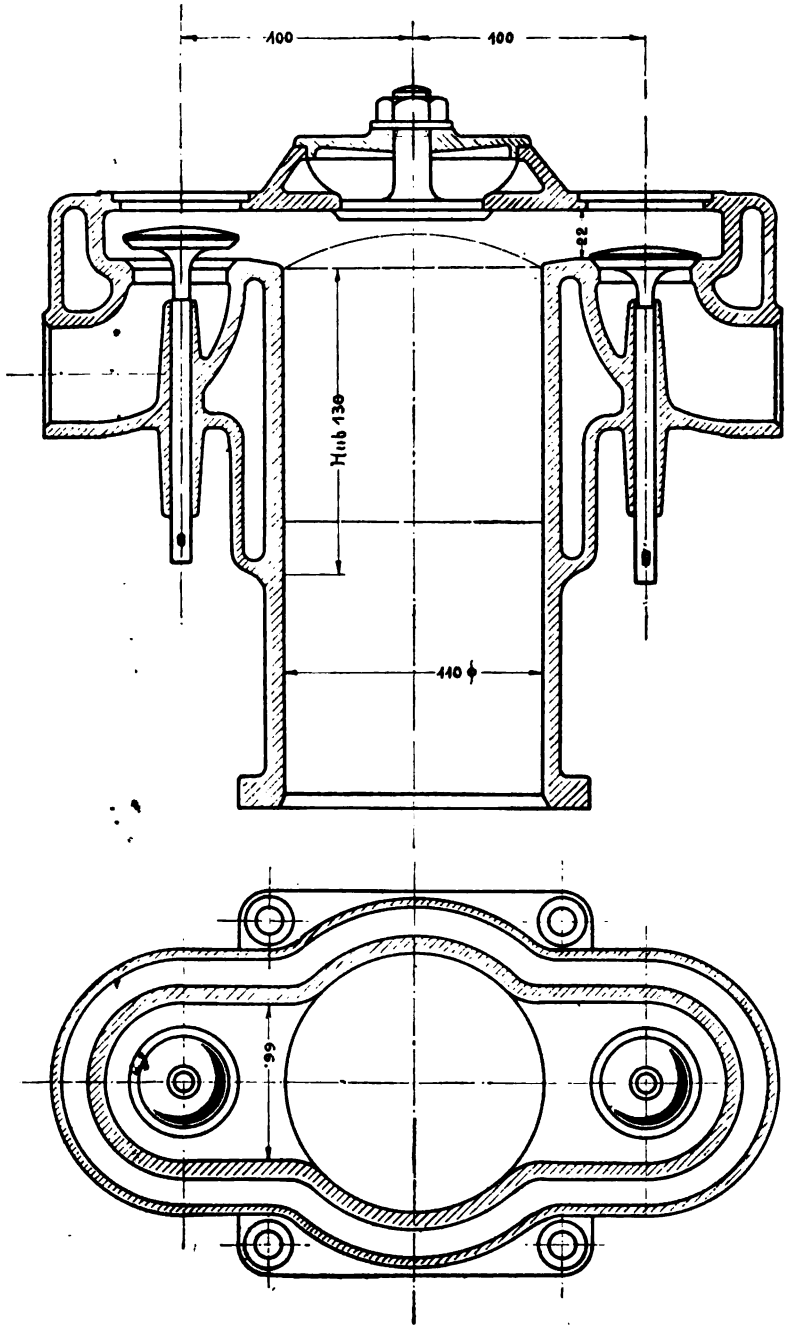


Fig. 28.

Digitized by Google

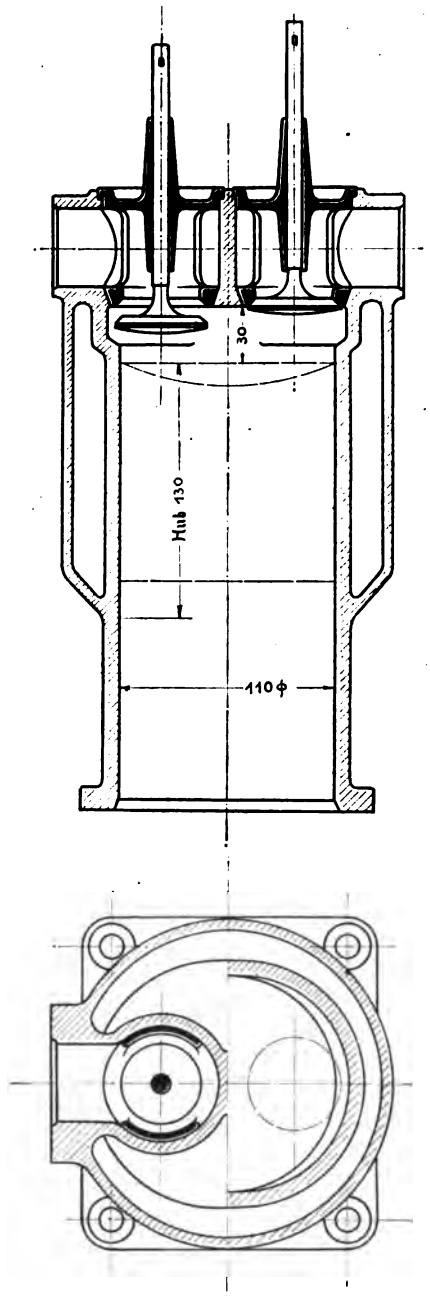


Fig. 29.

Digitized by Google

übertretenden Wärmemengen. Fig. 28 und 29 geben einen Schnitt durch die beiden Zylinder wieder, die von gleichem Hubvolumen mit 110 mm Durchmesser und 130 mm Hub und gleichem Kompressionsverhältnis von 1 : 4,5 angenommen sind. Die Tourenzahlen seien ebenfalls als gleich vorausgesetzt, sodass die Oberfläche allein für die übergeführte Wärme in Betracht kommt.

Es ergibt sich als Oberfläche im Kompressionsraum der Fig. 28 354 qcm, bei Figur 29 nur 197 qcm, wobei die Flächen der Ventile und ihrer Verschlüsse als nicht direkt gekühlt abgezogen sind. (Fig. 28: 78 qcm; Fig. 29: 39 qcm). Die Oberfläche des Kompressionsraumes der Ventilanordnung D (und E) würde demnach ca. 56% von der der Anordnung A betragen.

Für den Vergleich ist noch die Oberfläche des Laufzylinders, die beim Spiel des Kolbens allmählig freigelegt wird, zu berücksichtigen. Dabei kann man sich eine Vereinfachung gestatten, die ohne grosse Fehler zulässig ist. Man kann annehmen dass die Hälfte der Mantelfläche ebenso wie der Kompressionsraum dauernd der Einwirkung der Verbrennung ausgesetzt ist, dass die in dieser Hälfte übertretende Wärmemenge gleichwertig ist mit derjenigen, die bei allmählig vorgehenden Kolben von der ganzen Mantelfläche aufgenommen wird.*) Unter dieser Voraussetzung vergrössert sich die wirksame Oberfläche eines jeden Zylinders um 225 qcm der halben Mantelfläche, und die beiden Zahlen, die jetzt unmittelbar gegenüberzustellen sind lauten:

für Fig. 28: 579 qcm,
für Fig. 29: 422 qcm,

das heisst, es würde die Wärme aufnehmende Oberfläche der Anordnung D, E ca. 73% der Oberfläche bei der Anordnung A betragen. Die abzuführende Wärmemenge würde sich also um ca. 27% vermindern.

In Wirklichkeit dürfte diese Zahl noch zu klein sein. Aus zwei Gründen: In dem Vergleich sind zunächst die wasserbespülten Flächen der Auspuffrohre nicht berücksichtigt, die bei Fig. 29 wesentlich kleiner sind als bei Fig. 28, zweitens aber macht die Rechnung keinen Unterschied hinsichtlich der Beschaffenheit der Oberflächen der einzelnen Teile. Die glattgebohrten, meistens blank bearbeiteten und mit einer dünnen Ölschicht überzogenen Laufflächen sind durchaus nicht gleichwertig mit der rauhen Wandung des

*) Nach W. Hessling, Zeitschrift für kompr. und flüssige Gase 1902, Heft 11, sie ist sogar noch etwas geringer.

Digitized by Google

Kompressionsraumes. Die rohe Gusshaut, mit den direkten Abdrücken der einzelnen Körnchen des Formsandes, hat pro Quadratzentimeter der gerechneten, eine erheblich vergrösserte Oberfläche. Russ und halbverbranntes Öl, das sich in reichlicher Menge überall niederschlägt, bildet eine weitere Vermehrung der wärmeaufnehmenden Oberfläche. Dazu kommen noch Zufälligkeiten, wie nicht vollständig entfernter Gussgrat von zusammengesetzten Kernen, scharfe Vorsprünge und Kanten von den Arbeitsflächen, die als Rippenkühler in die Gase hineinragen und natürlich eine beträchtliche Wärmemenge in die Wandung überleiten.

Alle diese Einflüsse berechtigen zu dem Schlusse, dass die Verminderung der ins Kühlwasser übergeführten Wärme bei der Zylinderform Fig. 29 bis zu 40% gegenüber Fig. 28 beträgt. Das ist ein ganz beträchtlicher Gewinn, der bei grösseren Motoren sehr ins Gewicht fällt. Die Schwierigkeiten ausreichender Kühlung sinken dadurch ganz bedeutend.

Die mangelhafte Kühlung der Spindeln und des Sitzes beim hängenden Ventil war bereits erwähnt; es lassen sich zwar, wie Fig. 27 andeutet, die Wassermäntel bis sehr dicht an die Sitzflächen heranziehen, der schwierige Übergang der Wärme über die Dichtungsstellen bleibt jedoch bestehen. In der Mitte, wo beide Ventile zusammenstossen, fällt der Wassermantel ganz weg. Man muss hier darauf rechnen, dass die durch das Einlassventil strömenden kalten Gase eine kühlende Wirkung ausüben. Obgleich die Temperatur der angesaugten Gase oft bis 0° sinkt, ist andererseits nicht zu vergessen, dass die Wärmekapazität der Gase gering ist und die Kühlung nur während der Ansaugperiode, also während des vierten Teiles der Betriebszeit wirksam ist. Mit der Erwärmung des Gemisches ist ferner ein volumetrischer Verlust verbunden, der die Leistung des Motors ein wenig herabdrückt; das angesaugte Gasquantum verringert sich. Dieser kleine Verlust ist indes zu tragen. Bei schwer verdampfenden Ölen ist die Erwärmung sogar oft recht nützlich.

Sehr vorteilhaft ist die Kühlwirkung des Gemisches dann, wenn sie dem Auslassventil direkt zugute kommt. Es sind daher alle Ventilanordnungen, bei denen das kalte Gemisch über den Teller des Auslassventils hinwegströmen muss, als gut zu bezeichnen. In dieser Hinsicht steht die Anordnung mit übereinander liegenden Ventilen oben an; danach kommen alle Anordnungen mit dicht nebeneinander liegenden Ventilen, wenig vorteilhaft ist hierbei die Anordnung A und C.

Digitized by Google

Auch die Ventilkammern bekommen oft durch die kalten Gase eine erwünschte Kühlung. Man kann in den Fällen, wo Einlass- und Auslassventil unmittelbar nebeneinander liegen, meist auf eine Zwischenführung des Wassermantels verzichten. Das ist besonders von Wichtigkeit bei Motoren nach der Anordnung B. Natür-

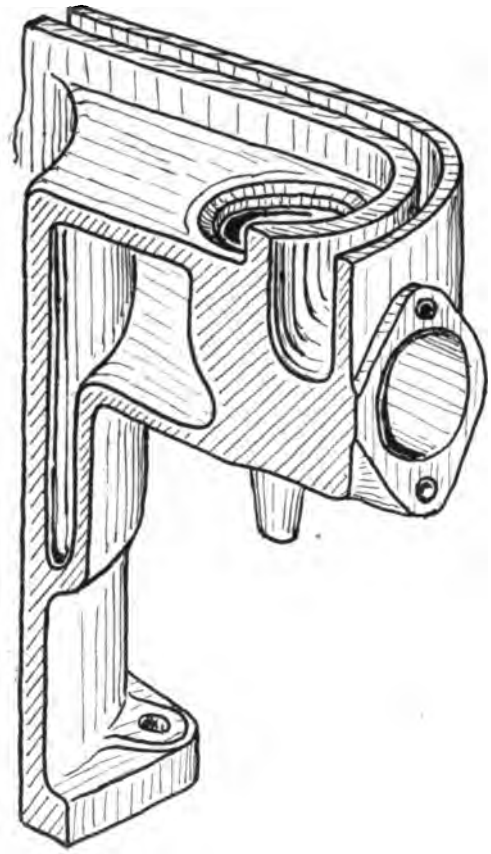


Fig. 30.

lich wird der Wassermantel so weit wie möglich in die Ecke zwischen den nebeneinander liegenden Rohren gezogen (vgl. Fig. 30), und man behält dann auch nur ein kurzes Stück ungekühlter Sitzfläche übrig. Die in der Figur erscheinende Schnittfläche wird von einer Seite durch das einströmende Gemisch gekühlt, auch die Sitzfläche des Auslassventils wird gerade an den gefährdeten Stellen von dem kühlenden Gasstrome getroffen.

Digitized by Google

Die Verwendung dieser Kühlung durch das einströmende Gasgemisch kann sogar noch weiter ausgenutzt werden, wenn die Explosionskammern zweier benachbarter Zylinder aneinander gelegt werden und die Einlassventile sich zu beiden Seiten der gemeinschaftlichen Wand befinden. Wie Fig. 31 erkennen lässt, sind dann die Wassermäntel ohne Schwierigkeiten so zu formen, dass nur ein verhältnismässig kleines Stück der Wand nicht gekühlt ist. Boden und Decke der Explosionsräume sind gekühlt und es liesse sich sogar ohne weiteres noch eine Verbindung zwischen diesen beiden Wasserräumen herstellen, etwa in der gestrichelt angedeuteten Weise, so dass hinsichtlich der Sitzflächen nichts mehr zu befürchten wäre. Diese Verbindung würde die Baulänge des Zylinderblockes nicht vergrössern. Die nebeneinander liegenden Einlassventile lassen sich sehr zweckmässig zu einer gemeinsamen Zuströmungsöffnung ver-

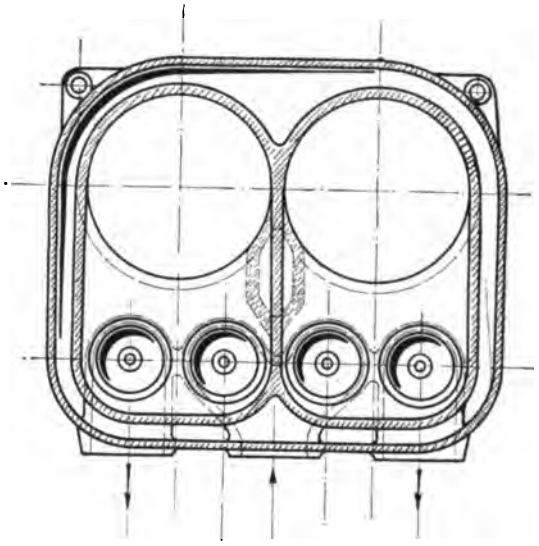


Fig. 31.

einigen, für die Auslassventile ist je ein getrennter Kanal auszuführen, der die heissen Gase auf dem kürzesten Wege abführt. Die umgekehrte Anordnung, die Auslassventile in die Mitte zu legen, ist natürlich nicht so gut, obgleich sie auch ausgeführt worden ist. Jedenfalls sieht man, dass die Zylindermitten der Ventile wegen nicht auseinandergerückt zu werden brauchen.

Eine Schwierigkeit besteht immer bei der Vereinigung mehrerer Zylinder zu einem Gussstück, das ist die richtige Führung des

Digitized by Google

Kühlwassers. Es sollte nicht dem Zufall überlassen werden, in welcher Weise sich das Kühlwasser in dem verzweigten und vielseitig gestalteten Wassermantel seinen Weg sucht, sondern man sollte beim Entwurfe darauf hinwirken, dass das Wasser möglichst nur in vorgeschriebenen Bahnen läuft. Wenn es irgend geht, sollte das natürliche Bestreben des Wassers, bei der Erwärmung von unten nach oben zu steigen, unterstützt werden. Ausserdem wird man die Zuführung des kalten Wassers in die Nähe der Auslassventile legen, die der Kühlung am meisten bedürfen. Sodann sind Dampfsäcke zu vermeiden, die stets eine Störung in dem regelmässigen Umlauf bewirken, indem die von Zeit zu Zeit hervorbrechenden Dampfstrahlen das neue zuströmende Kühlwasser zurückdrängen.

Eine vollkommene Bespülung aller Teile eines grösseren Zylindergussstückes ist unmöglich. Der eintretende Wasserstrahl verbreitet sich wohl nach allen Seiten, kann aber doch nicht überall hin vordringen. Es werden stets tote Ecken übrigbleiben, in denen das Wasser ruht und stark erhitzt wird, bis es von selbst aufsteigt oder verdampft. Diese Dampfbildung ist ungefährlich, wenn die einzelnen Dampfbläschen sich sofort entfernen und in den Wasserstrom übergehen können.

Die gewöhnliche Zylinderform der Anordnung A ist in dieser Beziehung ungünstig. Die Seiten der Einlassventile bekommen nicht genügend frisches Wasser wenn die Zuführung unter der Ventilkammer der Auslassventile erfolgt. Besser ist schon die Anordnung B, am günstigsten werden die Anordnungen mit hängenden Ventilen, bei denen man den Wasserstrom, eventl. durch eingegossene Rippen im unteren Wassermantel verteilen und den einzelnen Ventilgruppen sicher zuführen kann. Hinsichtlich der Wasserableitung ist es gerade umgekehrt. Bei Anordnung A kann dem Wassermantel stets eine solche Form gegeben werden, dass von allen Teilen ein Ansteigen nach dem höchsten Punkte, dem Zylinderdeckel, stattfindet. Auch die Anordnung C ist für die Wasserführung bequem, das kalte Wasser wird am Auslassventil zugeführt, es steigt um die Ventilkammer nach dem Einlassventil empor und wird hinter diesem nach oben weggeführt.

Ungünstiger gestalten sich diese Verhältnisse, wenn man bei den Anordnungen D und E auf eine Durchführung des Wassermantels über den Zuleitungsrohren und zwischen den Ventilen verzichtet. Es entstehen dann bei Anordnung D ganz getrennte Wasserkuppeln, aus denen das Wasser mit je einer Leitung abgeführt werden müsste. Liegen mehrere Zylinder nebeneinander, dann wird dies noch schwie-

Digitized by Google

riger, weil dann auch zwischen den Ventilen eine Wasserkuppel entsteht. Es bleibt in diesem Falle nur übrig, entweder die Wassermäntel hoch über die Gasrohre hinwegzuführen, oder die Wasserzuführung von oben her in die eine Kammer zu bewirken und aus der anderen Kammer allein die Ableitung vorzunehmen. Diese letzte Methode, die sogar bei Zylindern nach Anordnung A ausgeführt wird (die Ventile bekommen dann nur sehr wenig kaltes Wasser!) ist bei Anordnung D und E zulässig, da das Auslassventil in unmittelbarer Nähe der Zuströmung liegt. Ein Vorteil, der für diese Ausführung geltend gemacht wird ist der, dass der Wassermantel beim Versagen der Pumpe oder einem Defekt im Kühlapparat nicht leerläuft, sondern noch etwas Wasser zum Verdampfen behält.

Aehnlich ist es auch mit der Anordnung E, bei der zwei Längswasserkammern zu beiden Seiten der Ventilreihe entstehen, wenn man auf die Verbindungen zwischen den Ventilen verzichtet. Auch hier dürfte es wohl erlaubt sein, das Wasser von oben her in die eine Kammer zuzuführen und es aus der andern allein abströmen zu lassen.

Im allgemeinen ergibt sich in Bezug auf die Kühlung und die Form des Zylinderkopfes, dass das hängende Ventil gegenüber dem stehenden eine Reihe von Vorteilen aufweist: die bequeme Beherrschung des Kompressionsverhältnisses, die geringe abzuführende Wärmemenge und der kleinere und leichtere Kühlapparat. Das sind Vorzüge, die für den Automobilkonstrukteur einen ziemlichen Wert haben und die man nicht ganz ausser Acht lassen sollte.

Gusstechnik.

Die für den Guss so kleiner, komplizierter Zylinder notwendigen Spezialerfahrungen haben sich eine Reihe guter Giessereien bereits in hohem Masse angeeignet. Die Anforderungen, die seitens der Konstrukteure gestellt werden, sind oft ganz ausserordentlich. Dünne Wandstärke, komplizierte innere Kerne bilden die Regel und es gehört oft ein ganz vorzüglicher Modelltischler dazu, um die Formen in die Wirklichkeit zu übertragen, die der Konstrukteur für gut befunden hat. Ein innigeres Zusammenarbeiten zwischen Konstrukteursbureau, Modelltischlerei und Giesserei vor dem entgiltigen Entwurf der Formen wäre in vielen Fällen sehr erwünscht. Es könnten dann oft recht unangenehme Erfahrungen erspart bleiben. Die Schwierigkeiten hinsichtlich Gussspannungen, ungleichmässigem Schrumpfen, die bei den grossen Maschinen oft recht unangenehm

Digitized by Google

werden, haben bei den kleinen Zylindern allerdings nicht diese Bedeutung. Dagegen tritt hier hauptsächlich die Erscheinung der Porosität des Gusses auf, was bei den kleinen Wandstärken fast stets zum Verlust des ganzen Zylinders führt. Häufig tritt dieser Fehler erst im letzten Stadium der Bearbeitung zu Tage, so dass auch noch die Kosten der Bearbeitung verloren sind. Selbst die sorgfältigste Kontrole des rohen Gussstückes durch Druckwasser schützt nicht vor derartigen Verlusten. Eine zweckmässige Formgebung kann hier viel tun, die Vermeidung von Materialanhäufungen, scharfen Übergängen in den Ecken usw. muss eingehend berücksichtigt werden. Auch beim Giessen sind entsprechende Vorsichtsmassregeln anzuwenden, die Form muss rasch gefüllt werden und die Abkühlung soll langsam erfolgen, namentlich dann, wenn ein verlorener Kopf vorgesehen ist.

Es haben sich in der Formgebung der Automobilzylinder eine Reihe Regeln entwickelt, die fast allgemein Anerkennung finden. Meist giesst man 2 Zylinder in einem Stück, mit gemeinsamen Wassermantel und angegossenem Ventilkopf. Es wird dies Regel bleiben, abgesehen von besonderen Konstruktionen, die in Rücksicht auf das Gewicht hiervon abweichen, denn für eine billige Fabrikation ist diese Form am günstigsten. Man giesst so viel als möglich aus einem Stück, um an Bearbeitung zu sparen. Bei den Zylindern insbesondere fällt die schwierig zu bearbeitende und zu dichtende Trennungsfuge zwischen Ventilkopf und Laufzylinder fort, wenn beide Teile in einem Stück gegossen werden. Umsomehr muss man aber darauf achten, dass die inneren Formen der Kerne möglichst einfach werden, und dass diese gut und sicher zu lagern sind. Es werden sich dann bedeutend weniger Fehlgüsse einstellen.

Die Schwierigkeiten des Gusses sind durch die Anordnung der Ventile in erster Linie begründet. Je mehr Kanäle, Krümmungen, Ecken und Winkel ein Modell aufweist, desto komplizierter werden die Kerne; je glatter und einfacher ein Zylinder schon äusserlich erscheint, desto einfacher wird er auch im inneren Aufbau sein. Alle Ventilanordnungen, die dem Gussstück die einfache zylindrische Form möglichst lassen, werden daher auch die wenigsten Gussschwierigkeiten bereiten.

Es wird genügen, die beiden extremsten Fälle der Ventilanordnung in Bezug auf diesen Punkt zu untersuchen, d. i. die Anordnung A und die Anordnung D, die beiden Haupttypen für stehende und hängende Ventile. In der äussern Form weichen sie am weitesten von einander ab, der eine Zylinder mit den beiderseits

Digitized by Google

herausgebauten Ventilkammern, der andere mit glatter zylindrischer Form.

Bei der Herstellung des Modells ist zuerst zu beachten, dass der Zylinder auf dem Ventilkopf stehend gegossen werden soll. Dies ist die günstigste Lage, weil der Ventilkopf dann unter dem grössten Drucke steht und weil die Kerne am wenigsten zufälligen Verschiebungen beim Giessen ausgesetzt sind.

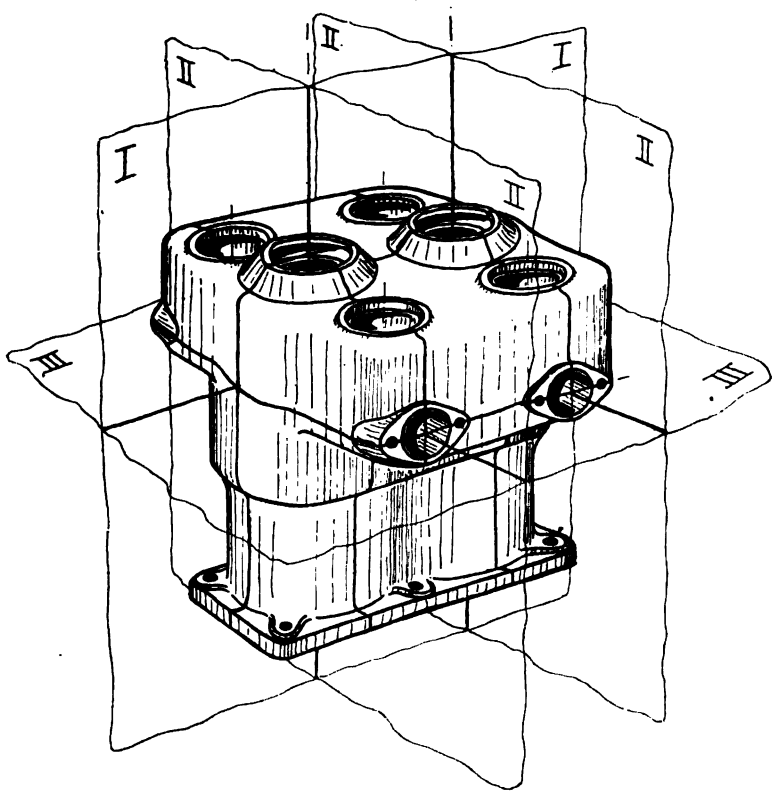


Fig. 32.

Hiernach hat sich die Modellteilung zu richten. Von den 3 Systemen paralleler Schnittebenen, die man durch das Modell legen kann, (Fig. 32) wird demnach das am günstigsten sein, dessen Ebenen beim stehenden Zylinder wagerecht verlaufen. Dann lassen sich die Kerne nacheinander, wie sie sich einhüllen, bequem einsetzen, richtig übereinanderbauen, und die Formkästen nehmen beim

Digitized by Google

Giessen allein den ganzen Horizontaldruck auf, d. h. die Form braucht nicht eingegraben, sondern nur beschwert zu werden. Das würde in der Figur das Ebenensystem III sein. Es hat den Nachteil, dass das Modell mindestens dreiteilig geformt werden muss, da sowohl unten am Flansch, als auch oben an den Ventilkammern ein Querschnittsmaximum vorliegt.

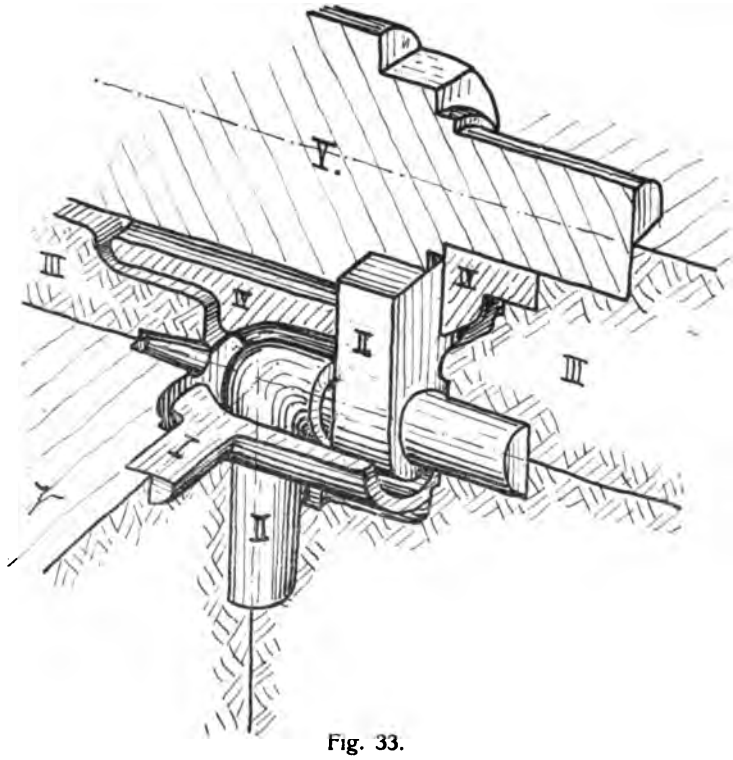


Fig. 33.

Die beiden andern Ebenensysteme haben ebenfalls ihre Berechtigung und Vorzüge, man kann sie ganz gut anwenden, ist aber gezwungen, die Form beim Guss einzugraben, wenn man stehend giessen will. Das System I würde den Vorzug haben, dass das Modell zunächst nur zweiteilig wird. Die Marken des Hauptkerns liegen direkt im Schnitt, die Marken der Saug- und Auspuffrohre können achsial ausgehoben werden, nur die Marke der Ventilöffnungen müsste man bis zur Teilungsebene verlängern. Das Ein-

Digitized by Google

legen der Kerne des Wassermantels hat indess seine Schwierigkeiten. Wie Fig. 33 zeigt, muss eine Teilung des Wassermantelkernes in der Ebene der Ventilöffnungen vorgenommen werden (V), um den Rohrkern einlegen zu können. Dabei würde das untere Stück selbst bei Anbringung einer Kernmarke oberhalb des Rohrflansches, parallel zur runden Marke II, keinen genügenden Stützpunkt finden. Dieses Kernstück würde sich nur dann sicher lagern lassen, wenn man das Modell nochmals in der Ebene *V* teilt, d. h. wenn man es vierteilig macht. Damit schwinden die Vorzüge gegenüber den anderen Teilungen.

Das System II ergibt ebenfalls ein dreiteiliges Modell, die Schnittebenen treffen dabei sämtliche Kernmarken. Die Kernlagerung ist gut, und die Kerne sind leicht einzubauen. In dem Falle, dass die Rohrleitungen von jedem Ventil getrennt abgeführt werden, ist diese Teilung gut brauchbar.

Für den Vergleich der Ventilanordnung A und D sei das System III zugrunde gelegt. Die eine Schnittebene des Modells liegt in der oberen Kante des unteren Flansches, die andere in der Höhe der Gasrohrmitten. Wird ein verlorener Kopf aufgesetzt, so müsste dieser ebenfalls noch angesteckt werden, die Form würde also im ganzen vierteilig. Eine Möglichkeit der Kernlagerung ist in Figur 34 dargestellt. Sie zeigt einen Winkelschnitt durch den noch aufrecht stehenden Zylinder; der oberste Formkasten ist abgenommen.

Der Hauptkern I, der eigentliche Zylinderkern, ist oben und unten durchgeführt, eines der wichtigsten Erfordernisse für die Sicherheit des Gusses. Der Kern ist schwer und darf sich auf keinen Fall verschieben. Bei der an sich sehr dünnen Wandstärke kann eine noch so geringe Verschiebung zu den grössten Unzuträglichkeiten führen, sei es durch Fehlguss, sei es auch nur durch Verringerung der Länge der Zylinder. Je besser die Lagerung, desto dünner können die Wände werden, desto leichter wird das Gussstück. Die Durchführung des Kerns bedingt natürlich eine Öffnung im Zylinderdeckel und meist auch im Wassermantel, die mit einer besonderen Kappe mit zwei Dichtungsstellen verschlossen werden muss (vgl. Fig. 28). Diese Konstruktion gestattet zugleich ein bequemes Durchführen der Bohrspindel beim Ausbohren.

Der Kern des Wassermantels, in der Figur mit II und IV bezeichnet, ist aus 2 Stücken zusammengesetzt, deren Trennungsebene mit der des Modells übereinstimmt. Ebenso ist es erforderlich, dass die Kanalkerne aus zwei Stücken bestehen. Der

Digitized by Google

Vorgang beim Einlegen der Kerne ist demnach folgender: Nach dem Einsetzen des Hauptkerns I in die Form ohne Deckkasten wird zunächst der untere Teil des Wassermantelkerns, II, eingelegt. Er findet seinen Stützpunkt an den halbrunden Kernmarken, die unter der mit IV bezeichneten Marke liegen. Durch die Öffnungen dieses unteren Wassermantelkernes lassen sich die Rohr-

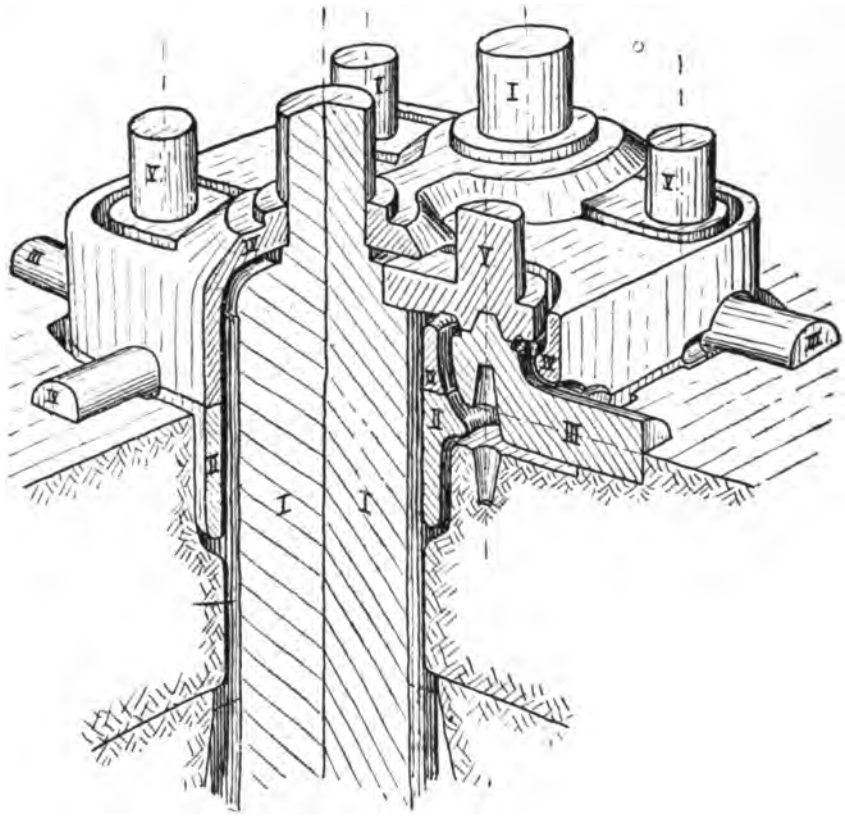


Fig. 34.

kerne III einlegen, die mit einer Kernmarke in dem Formkasten und mit einer Kernstütze ihren Halt haben. Nunmehr wird der Wassermantel vervollständigt, indem Kern IV über das ganze gelegt wird. Der Kern IV muss so beschaffen sein, dass er sich, ohne anzustossen über die Kerne III hinwegschieben lässt. Diese

Digitized by Google

Bedingung ist leicht zu erfüllen, wenn man bereits beim Entwurf darauf achtet, dass (vgl. Fig. 35) die grösste Ausbuchtung des Kerns IV nach III zu, die Stelle A, innerhalb der Wandstärke des Rohres durchgleiten kann, also auf der gestrichelten Linie.

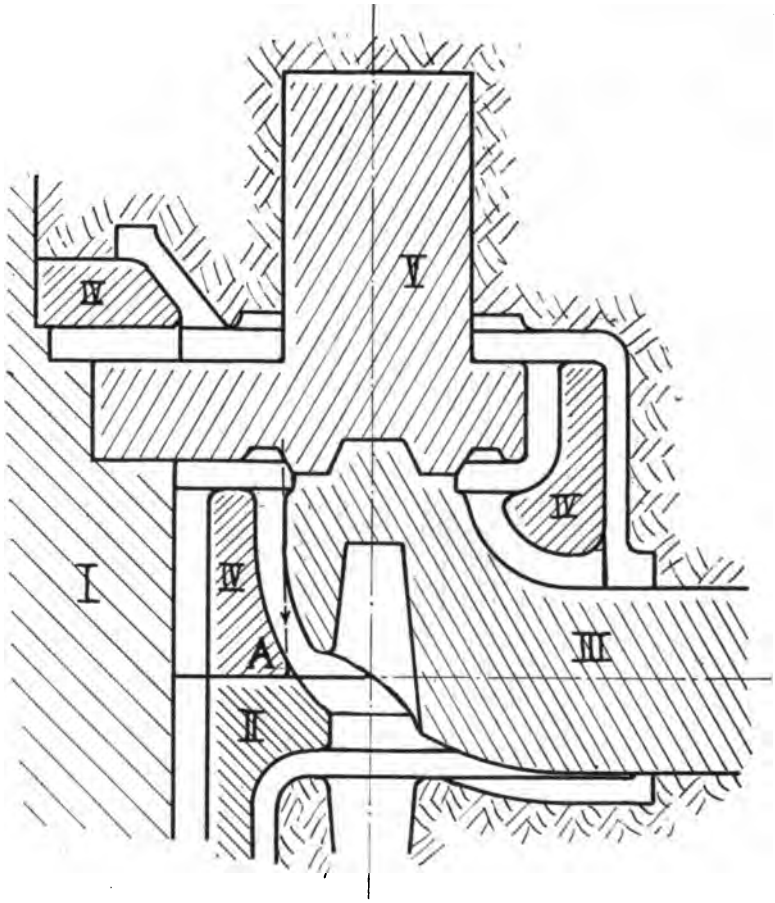


Fig. 35.

Den Schluss bilden die Kerne V, die vorsichtig mit etwas Ecken und Drehen durch IV hindurchzubringen sind und dann auf Kern I und III aufliegen. Zweckmässig wird man zwischen III und V eine Art Zentrierung vornehmen, sodass nach Aufsetzen des obersten Formkastens die beiden Kerne gewissermassen ein Stück bilden. Zum Guss ist dann die ganze Form auf den Kopf zu stellen.

Digitized by Google

Andere Möglichkeiten der Kernteilung, (etwa Vereinigung des Kernes V mit I) geben kaum einfachere Verhältnisse, im Gegenteil werden dann oft noch Hilfskerne und Zwischenstücke notwendig. Den Wassermantel wird man stets aus mindestens 2 Teilen herstellen müssen, am besten noch mit der Teilebene in der Ebene der Rohrmitten, wie in Figur 34, da alsdann die Kernkästen eine gerade Oberfläche bekommen und die Kerne sich leicht aufstampfen lassen. Wollte man hierauf verzichten, dann liesse sich eventuell noch eine kleine Vereinfachung dadurch erzielen, dass man den Wassermantel in einer Fläche teilt, deren Verlauf sich der Krümmung des Rohr-

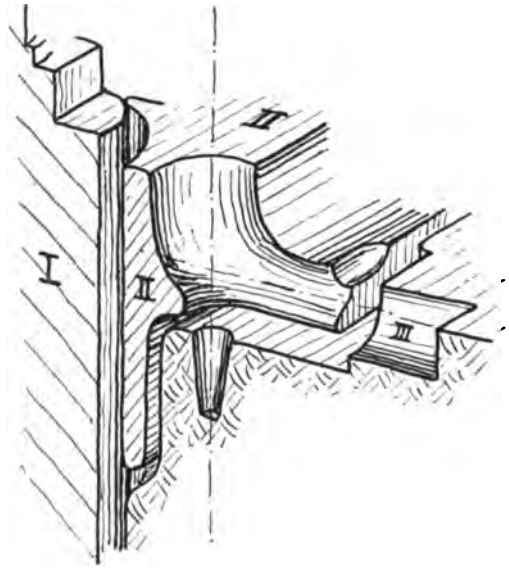


Fig. 36.

kerns III anpasst, etwa wie in Figur 36. Dann können die Kerne zu einem Stück verschmelzen und werden natürlich sehr sorgfältig gelagert sein.

Trotz dieser und vielleicht noch anderer Verbesserungen bleibt das Ganze doch ziemlich kompliziert. Das kleine Gussstück erfordert sehr genau gearbeitete Modelle und absolut genau passende Kernkästen, die Kerne selbst sind dünn und zerbrechlich. Die Teilung des Wassermantels kann zu unangenehmen Haut- und Gratbildungen im Innern Veranlassung geben, wodurch die Wasserzirkulation unter

Digitized by Google

Umständen sehr gehemmt wird; solche Unregelmässigkeiten lassen sich durch die kleinen Kernöffnungen kaum beseitigen. In jedem Falle bleibt der Zylinder mit zwei Ventilkammern ein schwieriges Gussstück. Bei dem gewählten Beispiel sind die einfachsten Formen angenommen; der Guss wird schon wesentlich schwieriger, wenn man zwei Rohrleitungen innerhalb des Gussstücks vereinigt.

Demgegenüber bietet ein Zylindergussstück mit hängenden Ventilen nicht so grosse Schwierigkeiten, was die äussere Form schon erwarten lässt.

Die Modellteilung, die ebenfalls nach den 3 Ebenensystemen der Figur 32 möglich wäre, wird man hier selbstverständlich durch wagerechte Schnitte vornehmen, und zwar in der Höhe der Anschlussrohre. Damit sind alle Kernmarken ohne weiteres geschnitten. Die Marken der Hauptkerne stehen senkrecht zum Schnitt und können beim Einformen achsial herausgezogen werden. Auch die Kernmarken des Wassermantels lassen sich ohne Schwierigkeiten in diese Ebenen verlegen. Die Figur 37 verdeutlicht eine Möglichkeit der Kernlagerung. Der innere Zylinderkern bildet wiederum die Grundlage, darum wird der Wassermantel in einem Stück gelegt, indem er sich auf mindestens 4 Kernmarken, in der Figur mit II bezeichnet, aufstützt. Die Kerne für die Rohrleitung lassen sich zuletzt ohne weiteres einlegen, sie stossen stumpf gegen die Kerne I. Diese Einfachheit würde kaum leiden, wenn man den Wassermantel noch über die Rohre führen würde. Allerdings würde es dann zweckmässig sein, den Mantelkern zu teilen, am besten in der Schnittebene des Modells und man würde die obere Hälfte nach Einlegen der Kerne III aufsetzen müssen. Dabei sind aber die Form der Kerne noch lange nicht so kompliziert wie bei dem vorher untersuchten Zylinder, und die Kerne sind namentlich sehr sicher gelagert. Man kann deshalb mit den Wandstärken unbedenklich bis auf das geringste überhaupt zulässige Mass heruntergehen. Das Innere des Wasserraumes ist von einfacher Form, die Reinigung von dem Kernsand wird verhältnismässig leicht sein. Der ungeteilte Mantelkern hat allerdings den Vorzug, dass im Innern kein scharfer Grat entstehen kann.

Die Formung anderer Zylinder mit den Ventilanordnungen B und C ist im ganzen genommen ähnlich denen der Anordnungen A und D. Der Zylinder mit einem Ventil im Deckel hat den Vorzug der guten zentralen Lagerung des Hauptkernes, ein Zylinder mit sämtlichen Ventilen auf einer Seite würde vielleicht am besten nach dem Ebenensystem I zu teilen sein. Die Schwierigkeiten des Gusses sinken, je mehr die Ventile über den Hauptkern treten, je mehr sich das Guss-

Digitized by Google

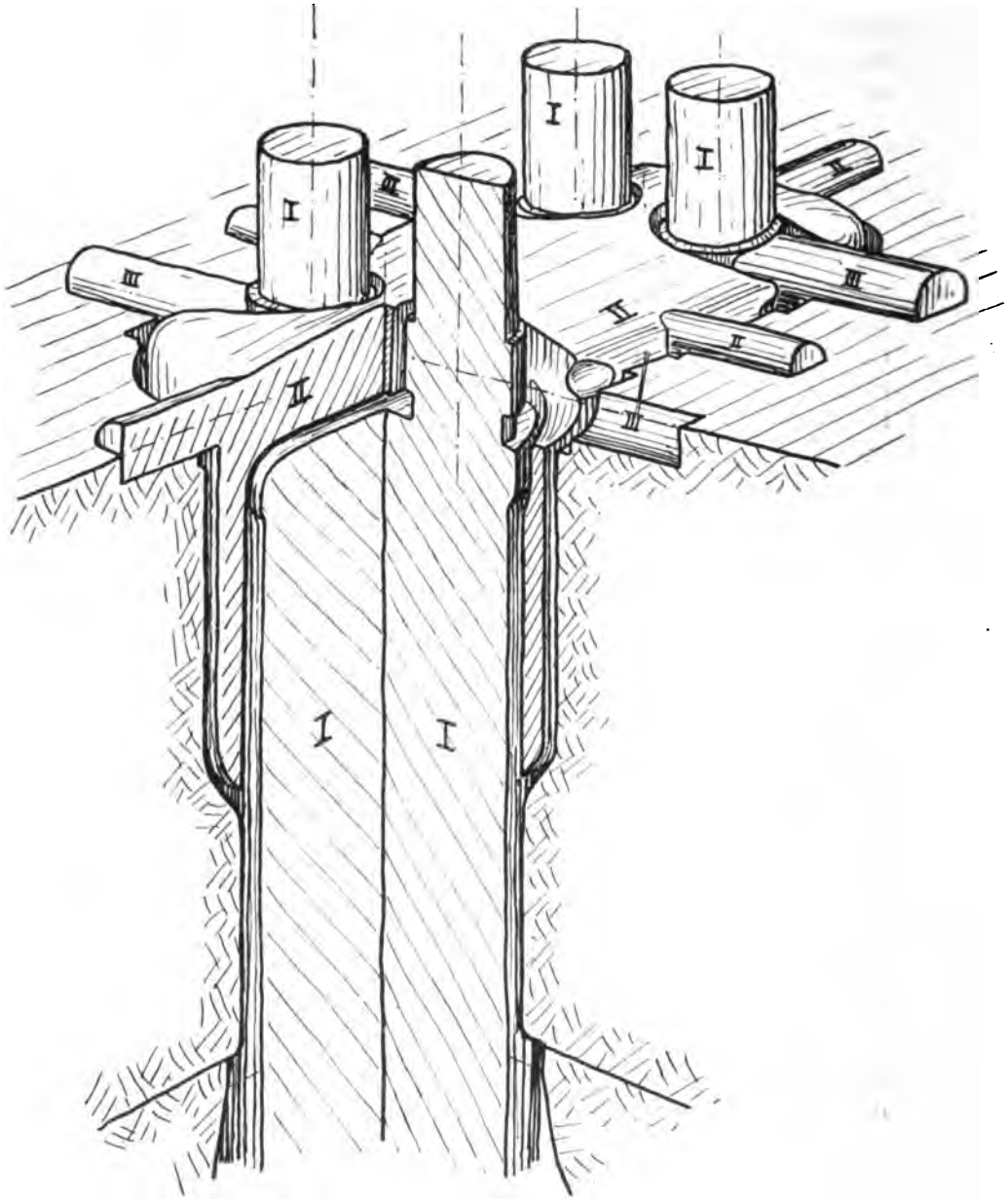


Fig. 37.

Digitized by Google

stück der reinen Zylinderform nähert. Je einfacher und sicherer die Kernlagerung, desto geringer die zulässige Wandstärke; je glatter die Form der Wandung, desto dichter der Guss. Alle diese Vorteile vereinigen sich bei den Anordnungen der Ventile über dem Zylinder.

Hand in Hand mit diesen Gussfragen geht die des Gewichts. Die Verringerung der Wandstärke bedeutet eine erhebliche Gewichtsersparnis. Ein Zylinder von mittlerer Grösse dürfte eine Gewichtsersparnis von ca. 15% erfahren, wenn es nur gelingt, die Wandstärke um 1 mm zu reduzieren. Der Wegfall der seitlichen Ventilkammern bei den Ventilanordnungen D und E dürfte noch mehr ausmachen, wahrscheinlich bis zu 30%, das sind Zahlen, die gerade beim Automobilmotor von wesentlicher Bedeutung sind. Diese erhebliche Gewichtsersparnis dürfte auch einer der Hauptgründe gewesen sein, weshalb man die Anordnungen mit hängenden Ventilen angewendet hat.

Neuere Bestrebungen nach Gewichtserleichterungen gehen noch weiter. Versuche, unter Anwendung spezifisch leichterer Metalle oder dünner Bleche das Gewicht noch mehr herabzudrücken, sind vielfach angestellt worden. Haupsächlich den Wassermantel sucht man auf jede erdenkliche Weise leichter zu machen, ein an sich ganz richtiges Bestreben, da der Mantel keine grosse Festigkeit, sondern nur Dichtigkeit zu besitzen braucht. Gerade dieser Punkt bietet aber grosse Schwierigkeiten. Zwei Metalle mit ungleichem Ausdehnungskoeffizienten und verschiedengrosser Erwärmung lassen sich nur schwer dauernd gegeneinander abdichten. Ein weiteres Hindernis bilden die Durchdringungen des Mantels für die Ventile, Zündung und Rohrleitungen. Es lässt sich überhaupt nur dann der vollständige Ersatz des Wassermantels durch eine Blechhaube durchführen, wenn alle diese Öffnungen in den Zylinderdeckel gelegt sind, oder wenn sie in einem besonders aufgesetzten Ventilkopf untergebracht werden. Dann bleibt allerdings ein grösseres Stück übrig, das durch einen zylindrischen Blechmantel umschlossen werden kann. Eine Abweichung von dem Kreisquerschnitt bietet immer Schwierigkeiten, nur wenn man ebene Platten verwenden kann, ist es möglich, durch zahlreiche kleine Heftschrauben eine gute Dichtung mit dem Gussstück herbeizuführen.

Die wenigen Ausführungen, die in dieser Hinsicht vorliegen, beschränken sich daher auch meist auf eine rein zylindrische Blechhaube, vielfach aus gewelltem Kupferblech, das den Dehnungen am besten nachgibt, oder es werden über die Zylinder gestülpte Alu-

Digitized by Google

miniumhauben angewendet, die so gut wie möglich an den Anschlussstellen abgedichtet werden.

Mit Bezug auf die verschiedenen Ventilanordnungen zeigt sich auch hier, dass das hängende Ventil am günstigsten für die Verwendung eines leichteren Wassermantels ist. Sowohl bei einem

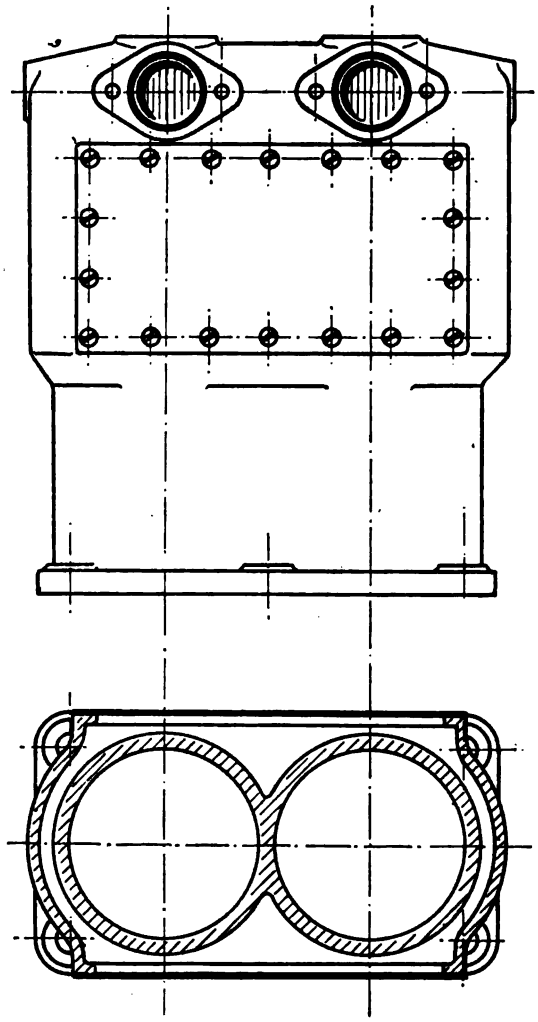


Fig. 38.

einzelnen Zylinder, als auch bei einem Zylinderpaar ist der um die Laufzylinder liegende Teil des Wassermantels genügend gross, um einen Ersatz durch Blech zu rechtfertigen, beim Einzylinder von kreisförmigem Querschnitt, beim Doppelzylinder in Form ebener

Digitized by Google

Platten. Die Fig. 38 deutet an, wie der letztere Fall etwa konstruktiv auszubilden wäre. Die beiden Seitenbleche sind hier so gross, dass die Gewichtsersparnis die Mehrkosten an Bearbeitung wohl noch rechtfertigt.

Im allgemeinen lohnt sich dieser Weg der Gewichtserleichterung jedoch nicht. Bei grossen Rennmaschinen, deren Gewicht nach gegebenen Vorschriften unter einem Maximum bleiben muss, mag man gezwungen sein, auf solche Konstruktionen überzugehen. Für die regelrechte Fabrikation von Gebrauchswagen kann sie nicht in Frage kommen, denn hier heisst es vor allen Dingen billig zu fabrizieren, an Bearbeitung muss so viel wie möglich gespart werden. Der erreichbare Gewinn würde gegenüber dem Gesamtgewicht eines Gebrauchswagens kaum zu bemerken sein. Je mehr man in einem Stück zusammengiessen kann, desto billiger wird die Konstruktion.

Digitized by Google

Armaturen.

Bei der Ausbildung des Zylinders sind noch einige Punkte zu berücksichtigen, die allerdings im allgemeinen nicht für die Wahl der einen oder anderen Anordnung von bestimmendem Einfluss sind: die Öffnungen für die Zündvorrichtungen und für einen Entlüftungshahn, den sogenannten Kompressionshahn. Man wird hier besonderen Wert auf gute Zugänglichkeit legen, da sowohl Zündvorrichtung als Kompressionshahn verhältnismässig am meisten bedient werden müssen.

Der Kompressionshahn kann seinen Platz an beliebiger Stelle am Zylinderkopf finden. Oft verbindet man ihn mit dem Verschluss, der des Kernes wegen im Deckel des Zylinders angebracht werden muss (siehe Figur 28), indem eine dünne Bohrung durch die mittlere Schraube gelegt und der Hahn einfach oben angeschraubt wird. Diese Lage ist gut, sie ermöglicht eine leichte Einfüllung von Petroleum oder auch Benzin zur Reinigung bezw. Ingangsetzung des Motors. Wird der Hahn nicht über dem Kolben angebracht, so wird die Möglichkeit einer Reinigung etwas erschwert. Bei Zylindern mit im Deckel liegenden Ventilen muss man deshalb sehen, den Hahn noch in einer Ecke zwischen den Ventilen unterzubringen, damit dieser Vorteil nicht verloren geht. Meist wird das möglich sein. Eventuell ist auch ein Ventil gleich zu diesem Zwecke zu benutzen, sodass ein besonderer Kompressionshahn ganz fortfällt.

Wichtiger dagegen ist die Wahl des Platzes für die Zündvorrichtung. Für diese ist es durchaus nicht gleichgültig, in welchem Punkte sie sitzt, eine ungeschickt gewählte Stelle für die Zündung kann die ganze Motoranordnung verderben. Nur die elektrische Zündung kommt für den Automobilmotor in Frage. In erster Linie ist darauf zu sehen, dass der Zündfunke wirklich in brennbarem Gemisch liegt, d. h. an einer Stelle, die von frischeinströmenden Gasen bespült wird. Auch in Rücksicht auf die Kühlhaltung des Zünders ist es erwünscht, dass er möglichst in dem Zuge des

Digitized by Google

kalten Gases liegt. Ferner darf die Zündung nicht dem umherspritzenden Öle des Kolbens ausgesetzt sein. Alle Zündarten, sei es Kerzenzündung mit hochgespanntem Strom oder Lichtbogenzündung mit Abreissvorrichtung, versagen, wenn Öl, das stets mit Russ vermischt ist, an die Kontaktstelle kommt. Aus diesem Grunde wäre die Zündstelle möglichst weit weg vom Kolben zu legen, auch nicht in die Bahn der ausströmenden Gase, weil diese oft mit halbverbranntem Öl durchsetzt sind.

Der geeignetste Platz für die Zündung ist eine Ventilkammer seitlich vom Laufzylinder, in der sich nur das Saugventil befindet. Diese vereinigt alle die geforderten Eigenschaften. Die Zündung liegt im frischen Gemisch, ist genügend weit von dem umherspritzenden Öl entfernt und wird nicht von den Auspuffgasen getroffen. In der Tat giebt die Zündvorrichtung an dieser Stelle sehr selten zu Störungen Veranlassung. Nicht so günstig sind in dieser Beziehung die Motoren mit hängenden Ventilen, da alle Organe um die kleine Explosionskammer zusammengedrängt sind. Hier wird vielleicht in einer etwas zurückgezogenen Höhlung des Kompressionsraumes der beste Platz für die Zündung sein. Durch die Form der Wandung wäre darauf hinzuwirken, dass die frischen Gase möglichst nach dieser Höhlung hingeleitet werden, während andererseits Öltropfen nicht in die Höhlung zu gelangen vermögen. Durch sorgfältige Ausbildung in diesem Sinne lassen sich auch hier die Schwierigkeiten umgehen.

Zur Entscheidung, an welcher Stelle die Zündung anzubringen ist, trägt natürlich noch die äussere Steuerung viel bei, namentlich bei der Lichtbogenzündung mit Abreisskontakt, der sogenannten Magnetabreisszündung, die einen von der Steuerwelle betätigten Unterbrechermechanismus fordert. Hierauf kann jedoch erst nach Besprechung der Gesamtanlage der Steuerung zurückgekommen werden. Für eine Zündung mit Hochspannungsstrom, die keine weitere Verbindung der Zündstelle mit der Stromquelle erfordert, als den einfachen Leitungsdraht, ist die Entscheidung nicht schwer. Bei Ventilanordnung A ist der beste Platz über dem Einlassventil, am besten im Deckel des Ventilverschlusses. Ebenso bei Anordnung B. Bei allen anderen Anordnungen empfiehlt es sich, eine besondere flache Ausbuchtung im Kompressionsraum anzubringen.

Digitized by Google

Steuerung.

Steuerungsgestänge.

Die Ausbildung der Steuerung richtet sich in erster Linie nach der Anordnung der Ventile und nach der Lage der Kurbelwelle. Sie muss so beschaffen sein, dass sie mit den einfachsten Mitteln ihre Aufgabe erfüllt, jede Komplikation gerade an dieser Stelle ist zu verwerfen.

Von den Grossgasmaschinen hat man Nockensteuerung übernommen und bis jetzt mit ganz verschwindenden Ausnahmen überall beibehalten. In der Tat lässt sich kaum etwas einfacheres finden. Die ganze Steuerung besteht in der Regel nur aus der Nockenwelle selbst, dem einfachen Antrieb und den Stösseln, die die Hubbewegung von den Nocken nach dem Ventil übermitteln. Bei richtiger Ausführung hat diese Steuerung nirgends Mängel, auch die Herstellung der Federn bietet keine Schwierigkeiten, wodurch bei den grossen Gasmaschinen die Verwendbarkeit dieser Art Steuerung eingeschränkt wird. Federbrüche sind bei den kleinen Schnellläufern sehr selten, auch ein schnelles Nachlassen der Federn infolge zu grosser Erwärmung kann leicht durch geschickte konstruktive Anordnung verhindert werden.

Es wäre daher auch durchaus verkehrt, wollte man die modernen Konstruktionen der Steuerungen von grossen Gasmaschinen auf die Automobilmotoren übertragen. Alle Exzenter- und Wälzhebelkonstruktionen, die man dort in Anlehnung an die Dampfmaschinensteuerungen mehr und mehr verwendet, sind beim kleinen Motor nicht zu gebrauchen. Sie haben sämtlich den Übelstand, dass sie zu vielteilig sind, und dass ihre Schmierung Schwierigkeiten bereiten würde. Der durch diese komplizierten Organe eventuell zu erzielende Gewinn würde auch nicht gross sein; auf eine Präzisionsregulierung mit einem Regulator, der das Gestänge beeinflusst, kann man sich wegen der Kleinheit aller Teile nicht einlassen. So einfach wie möglich muss alles ausgeführt werden, höhere

Digitized by Google

Elementenpaare werden mit Vorteil angewendet, Linien- und selbst Punktberührungen im Steuerungsantriebe sind zulässig, gutes Material und sorgfältige Arbeit vorausgesetzt.

Die Gesamtanlage der Steuerung muss so beschaffen sein, dass von einer Steuerwelle möglichst viele Ventile betätigt werden, um mit einem einzigen Antriebe auszukommen. Hierfür sind die Bauarten vielzylindriger Maschinen kein Hindernis, die Steuerwelle lässt sich bequem an der Längsseite des Motors an allen Zylindern vorbeiführen.

Sie liegt dann parallel zur Kurbelwelle, der Antrieb wird infolgedessen sehr einfach, er besteht in der Regel nur aus einem Stirnräderpaar, das gleichzeitig die für den Viertakt notwendige Übersetzung von 1 : 2 besorgt. Über die Ausführung des Antriebes wird bei Gelegenheit der anderen Hilfsorgane noch zu sprechen sein. Hier ist zunächst nur der Zusammenhang zwischen Steuerwelle und Ventil zu betrachten.

Von der gemeinsamen Steuerwelle, die, um den bequemen Antrieb nicht einzubüssen, meist sehr dicht neben die Kurbelwelle gelegt wird, ist das Öffnen der Ventile mittels eines Steuergestänges zu bewirken, je nach Art der Ventile durch Druck oder Zug. Die verhältnismässig grosse Entfernung von der Steuerwelle bis zum Ventil ist hier kein Hindernis, da die bewegten hin- und hergehenden Massen noch nicht eine unbequeme Grösse erreichen. Am einfachsten wird der Übertragungsmechanismus, wenn die Ventilspindel unmittelbar senkrecht über der Welle liegt, es ist dann nur eine mehr oder weniger lange Stossstange erforderlich, die mit einem geeignet ausgebildeten Kopfe auf dem Nocken schleift. Diese einfache Übertragung ist bei dem stehenden Ventil möglich, das sich in den seitlich am Zylinderkopf liegenden Ventilkammern befindet; es ist dies der grösste Vorzug des stehenden Ventils, einen einfacheren Antrieb kann es nicht geben. (Vergl. Fig. 39.) Das hängende Ventil, dessen Verwendung auf die Form und Herstellung des Zylinders sehr vereinfachend wirkte, bedingt einen wesentlich komplizierteren Ventilantrieb. Von der unten befindlichen Steuerwelle muss ein gebrochenes Gestänge bis über den Zylinder geführt werden, und die Abwärtsbewegung des Ventils beim Öffnen erfordert, wenn man den Stössel des anderen Ventils beibchält, eine Bewegungsumkehr. Die Zahl ausgeführter Konstruktionen ist nicht gross. In Betracht kommen eigentlich nur zwei, die in den Figuren 40 und 41 dargestellt sind.

Der Vergleich zeigt ohne weiteres die Nachteile der Steuerung

Digitized by Google

des hängenden Ventils. Die Masse der bewegten Gestänge wächst ganz bedeutend, gegenüber Figur 39 vielleicht um mehr als 100%. Diesen Mehrbetrag müssen die Ventilfedern mit beschleunigen, sie

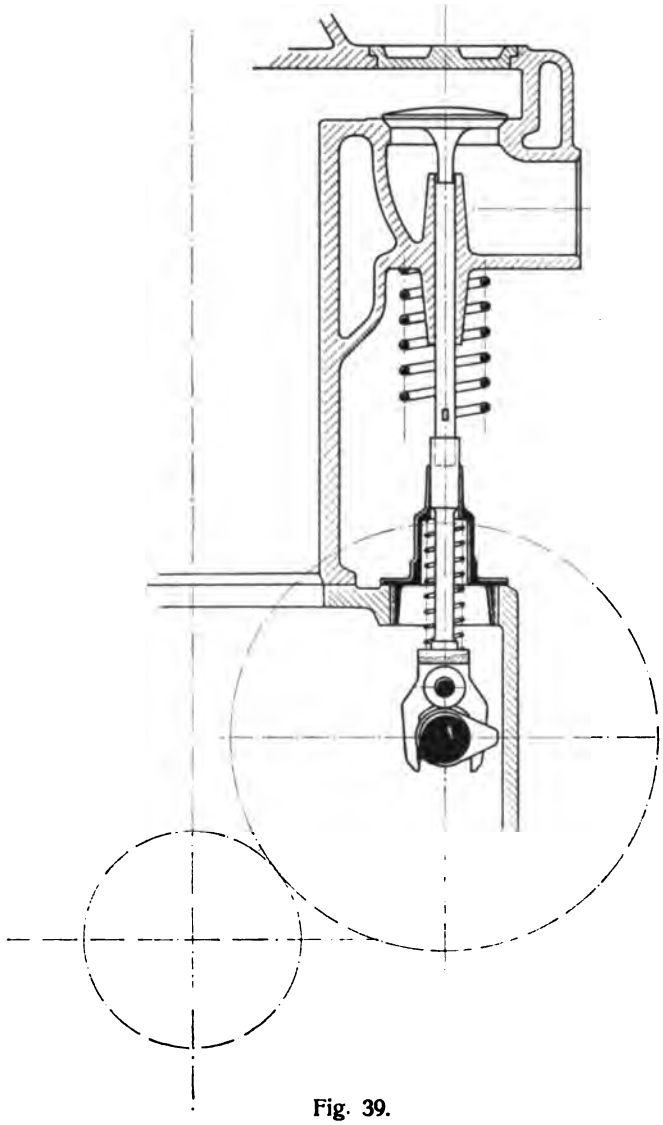


Fig. 39.

müssen also entsprechend stärker ausgeführt werden; auch die Stösse auf die Steuerwelle werden härter. Es empfiehlt sich, ausser der Ventilfeder noch eine zweite kräftige Feder unmittelbar an der Stossstange angreifen zu lassen, wie dies in Figur 41 angedeutet ist.

Digitized by Google

Die beiden Arten des Antriebes vom hängenden Ventil, Fig. 40 und 41, unterscheiden sich hauptsächlich darin, dass einmal ein Schwinghebel in das Steuergestänge eingeschaltet ist, der die nach oben gerichtete Bewegung des Stössels umkehrt, während bei der zweiten Art ein starres Gestänge verwendet ist, das beim Öffnen

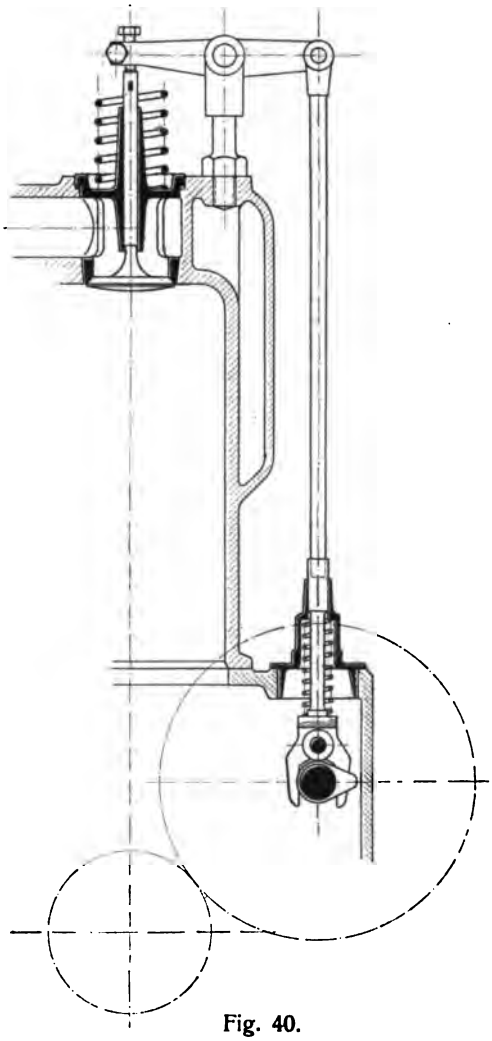


Fig. 40.

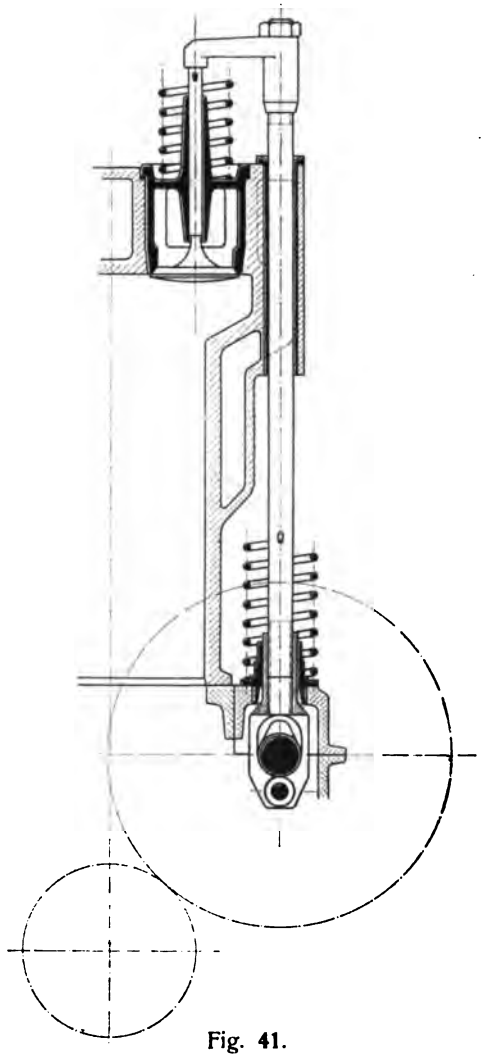


Fig. 41.

des Ventils von der Steuerwelle nach unten gedrückt werden muss. Jede von den beiden Ausführungen hat ihre Nachteile. Die Schwinge bedeutet zunächst eine Vermehrung der Teile, ferner treten zwei Gelenke hinzu, deren Schmierung infolge ihrer exponierten Lage

Digitized by Google

Schwierigkeiten bietet. Die Gelenke sind der Gefahr schneller Abnutzung ausgesetzt, es wird erforderlich, eine Stellschraube mit Festklemmvorrichtung oder dergl. anzubringen, um Verschleiss und Differenzen beim Einsetzen neuer Ventile ausgleichen zu können. Die Ausführung hat dagegen den Vorzug, dass die Übertragung unten an der Steuerwelle einfach bleibt. Der Stössel kann ebenso wie bei dem stehenden Ventil einfach auf den Steuernocken aufgesetzt werden, wie es die Figur andeutet. Auch ist die Entfernung der Steuerwelle von der Maschinenmitte durchaus nicht beschränkt, mit der Schwinge kann jede Entfernung ohne weiteres überbrückt werden.

Das starre System, Figur 41, hat zwar nicht mehr bewegte Teile als die Steuerung des stehenden Ventils, indessen zeigen sich eine Reihe anderer Übelstände. Die Bewegung der Stange ist beim Öffnen des Ventils nach unten gerichtet, die Stange muss demnach in irgend einer Weise um die Steuerwelle herumgeführt werden, d. h. diese ist von allen Ventilstangen fest umklammert. Das erschwert die Montage ganz erheblich. In den meisten Fällen wird man die Zusammensetzung der Steuerung dann nicht am Motor vornehmen können, jedenfalls nie, wenn die Steuerwelle mit im Hauptkurbelgehäuse eingekapselt ist. Es bleibt nur übrig, Welle mit Gestänge ausserhalb des Motors zusammenzubauen und das fertige Ganze in den Motor einzulegen. Dann ist man meist gezwungen, hierfür besondere Schnittebenen in dem Motorgehäuse anzuordnen, die gewöhnlich nur schlecht zu dichten sind. Der Schnitt muss durch die Mitte der Steuerwelle gelegt werden, ein achsiales Einschieben der montierten Welle, wie es sonst häufig angewendet wird, ist nicht möglich.

Unter Umständen lassen sich diese Schwierigkeiten durch eine hakenförmige Ausbildung des Zugstangenkopfes umgehen, oder, wie es Fig. 42 andeutet, durch Einschaltung eines Hebels. Es würde dann allerdings möglich sein, die Steuerung am Motor zusammenzusetzen, indem die Zugstangen von oben in das Gehäuse eingeführt werden, während die Hämmer seitlich einzubringen sind. Ob diese Konstruktion ein grosser Gewinn ist, bleibt fraglich. Die Anzahl der Teile ist wieder vermehrt worden, die Gelenke und Druckstellen werden allerdings hier gut geschmiert.

Die erwähnten Übelstände sind aber bei der Konstruktion nicht die einzigen, auch oben am Ventil gestalten sich die Verhältnisse recht ungünstig. Der Druckdaumen, der von der Zugstange nach dem Ventil hinübergeht, wird immer ziemlich lang ausfallen. Das Minimum seiner Länge ist grösser als der halbe Ventildurchmesser,

Digitized by Google

und dabei muss schon die Zugstange durch den Wassermantel zugeführt werden. Es entsteht in der Zugstange ein erhebliches Biegungsmoment, das dazu zwingt, ihr einen verhältnismässig grossen Durchmesser zu geben oder sie als Rohr auszuführen. Auch um die Flächenpressung in der Führung in mässigen Grenzen zu halten, ist dies notwendig. Die Führung selbst muss sehr lang ausgebildet werden. Am unangenehmsten aber ist die Notwendigkeit der Schmierung dieser Gleitstelle, die insofern recht schwierig ist, weil sie ganz

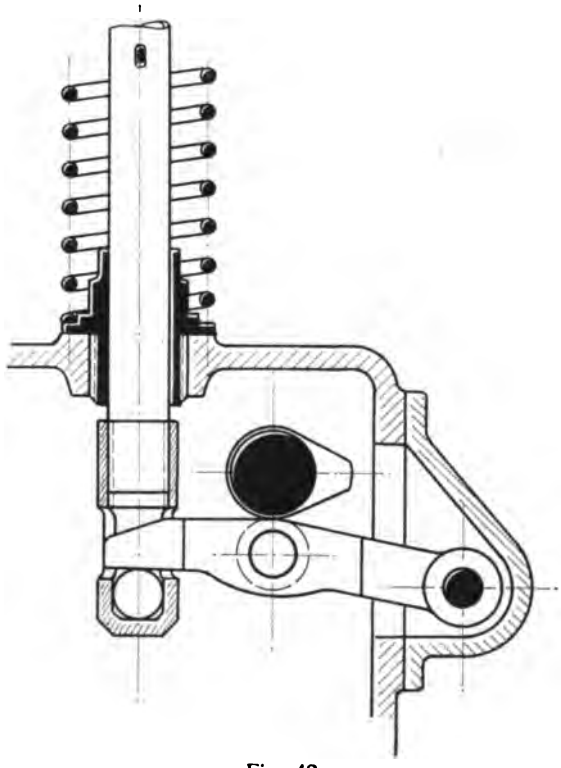


Fig. 42.

ausserhalb der sonstigen Motorschmierung liegt. Die Gelenke beim Antrieb mit Schwinge nach Fig. 40 sind in dieser Beziehung nicht so empfindlich, da die Bewegungen klein sind, hier dagegen wird nur eine besondere Schmierleitung eine genügende Betriebssicherheit verbürgen. Bei direktem Angriff der Zugstange an der Steuerwelle wird ausserdem der Abstand der Welle von der Mitte des Motors sehr klein, die Steuerwelle liegt dicht am Zylinder und muss, um nicht mit den Kurbeln in Konflikt zu kommen, verhältnismässig hochgelegt werden, was wieder sehr grosse Steuerräder zur Folge hat.

Digitized by Google

Im allgemeinen ist die Konstruktion nach Figur 41 nicht als so gut wie die nach Figur 40 zu bezeichnen, und diese wieder hat gegenüber der einfachen Steuerung des stehenden Ventils (Fig. 39) die genannten Mängel. Es kommt noch der prinzipielle Übelstand hinzu, der allen übergreifenden Steuerungen eigentümlich ist: die mangelhafte Zugänglichkeit der Ventile. Die Steuerung muss beim hängenden Ventil so eingerichtet sein, dass das Einsetzen und Herausnehmen des Ventils leicht bewirkt werden kann, ohne dass eine Verstellung des Steuergestänges dabei vorkommen kann. Auf diese Forderung lässt sich bei der starren Steuerung (Fig. 41) am einfachsten Rücksicht nehmen. Es genügt, den Druckdaumen zur Seite zu drehen, ohne dass man einen Steuerteil ganz zu entfernen braucht. Allerdings ist eine Feststellung des Daumens über Ventilmitte notwendig, die sich aber in einfachster Weise bewirken lässt. Bei der Steuerung nach Figur 40 ist es unerlässlich, die Schwinge zu entfernen, entweder durch gänzliches Wegnehmen oder durch Hochklappen, so dass das Ventil mit Einsatz an ihr vorbeigezogen werden kann. Zweckmässig kann es hierbei sein, die Schwinge am Ventilverschluss zu lagern, so dass mit diesem auch das ganze Steuerungsgestänge beseitigt werden kann, wenn ein Ende des Stössels nur lose aufruht, und nicht mit Gelenken angeschlossen ist. Eine Verstellung ist hierbei nicht zu befürchten.

Es wäre noch zu untersuchen, ob für die hängenden Ventile eine Verlegung der Steuerwelle auf die Zylinder Vorteil bringen würde. Es sind derartige Konstruktionen mehrfach ausgeführt worden. Ein Vorteil liegt auf der Hand, die bewegten Massen werden die denkbar kleinsten, man kann beinahe die Enden der Ventilspindeln selbst auf den Nocken laufen lassen. Das ist aber auch der einzige Vorteil, in vielen anderen Beziehungen ergeben sich konstruktive Mängel. Die Zugänglichkeit der Ventile fordert, dass die darüber befindliche Steuerwelle schnell zu entfernen ist. Will man dabei eine Störung des Zusammenhanges mit der Kurbelwelle vermeiden, also die richtige Einstellung der Steuerung erhalten, so muss man zu besonderen Kunstgriffen seine Zuflucht nehmen. Wie das etwa geschehen kann, ist in Fig. 43 angedeutet. Die Steuerwelle ist in ein Gehäuse eingekapselt, dessen Tragfüsse auf der einen Seite als Gelenke ausgebildet sind, sodass sich das Ganze im Sinne des Pfeils hochklappen lässt. In die senkrechte Verbindungswelle, die den Antrieb der Steuerwelle mit Hilfe zweier Schraubenräder vermitteln, ist in der Höhe der erwähnten Scharniere ein Universalgelenk eingeschaltet.

Digitized by Google

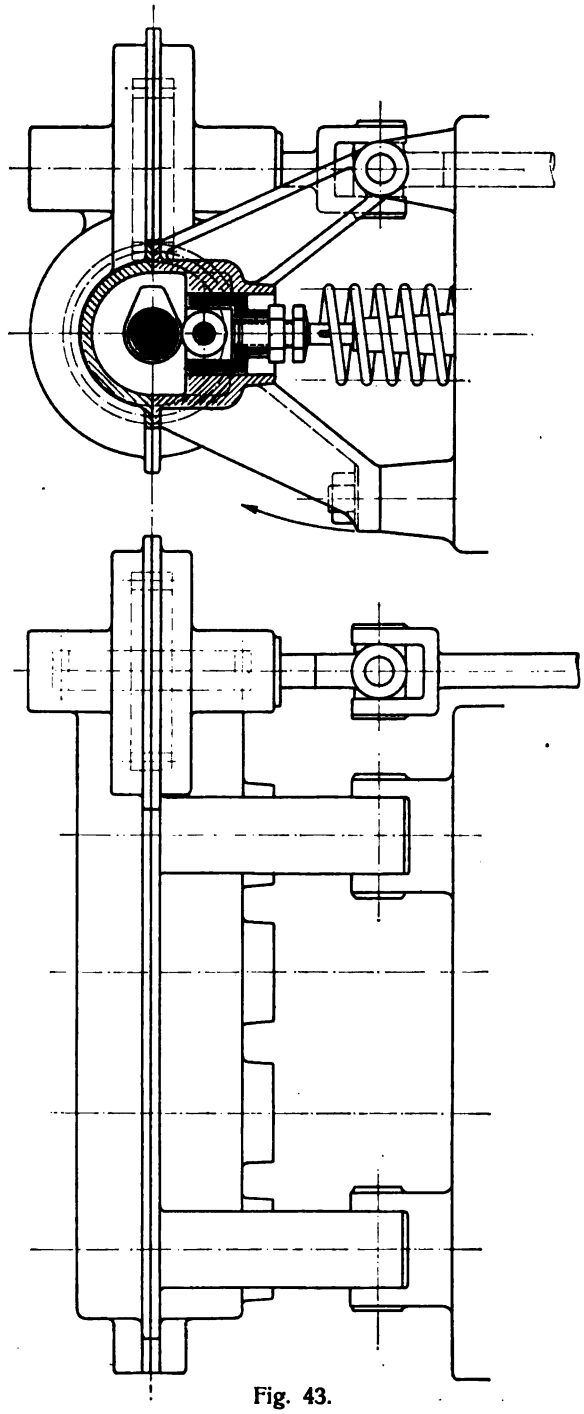


Fig. 43.

Digitized by Google

Scharniere und Gelenke befinden sich in derselben Vertikalebene, sodass beim Hochklappen des Gehäuses die Verbindungswelle ohne Zwang mitgeknickt wird. Es lässt sich also nach Entfernung der beiden Schrauben an den Tragfüssen die Steuerwelle vollständig entfernen, ohne dass die Einstellung gestört wird.

Die Konstruktion entspricht den Forderungen der Zugänglichkeit, sie zeigt aber auch die Komplikationen, mit deren Hilfe dies allein reichbar ist. Abgesehen von den Gelenken in den Trägern des Wellengehäuses, die teuer und schwierig herzustellen sind, ist vor allem die Hilfswelle zur Bewegungsübertragung eine unangenehme Zugabe. Sie bedingt besondere Lagerungen oben und unten, Kegel-

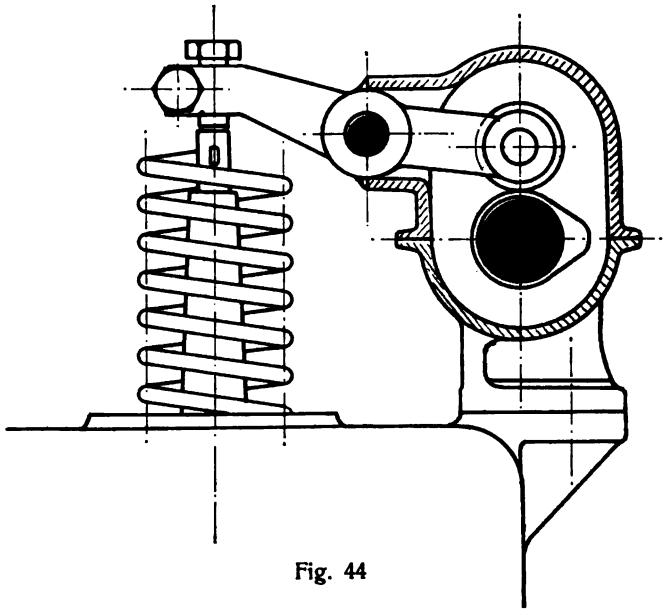


Fig. 44

als auch die Schraubenräder sind teure Einzelteile, beide verursachen achsiale Drucke in den Wellen, die durch besondere Spurlager aufgefangen werden müssen.

Das in der besprochenen Konstruktion verwendete Universalgelenk würde sich vermeiden lassen, wenn nach dem Vorbilde grösserer Maschinen die Steuerwelle nicht direkt über, sondern seitlich von den Ventilen gelegt würde, man hätte dann den Vorteil, dass die Steuerwelle fest am Zylinder montiert werden könnte und die Ventile frei liegen (Fig. 44). Indessen ist damit nicht viel gewonnen. Einesteils braucht man jetzt wieder Hebel, die seitlich aus dem Ge-

Digitized by Google

häuse nach dem Ventil hinüberreichen, und die komplizierte Räderübertragung bleibt bestehen.

Ein wunder Punkt der auf den Zylindern angebrachten Steuerwelle ist ferner die Schmierung. Es lässt sich zwar eine oben liegende Steuerwelle ebenso gut einkapseln wie unten, jedoch besteht ein erheblicher Unterschied beider Anordnungen. Die unten liegende Steuerwelle, die bequem mit in das gemeinschaftliche Kurbelgehäuse eingeschlossen werden kann, wird reichlich durch das Spritzöl geschmiert, das durch die Kurbeln zerstäubt wird; der feine Ölstaub dringt ohne weiteres in alle Winkel und Ecken, zwischen die Nocken und Gelenke ein. Die getrennt eingekapselte Welle auf dem Zylinder muss dagegen besonders geschmiert werden, es fehlt das Spritzöl, die Schmierung ist nie so intensiv und sicher wie in der vorerwähnten Anordnung. Es kommt die Gefahr hinzu, dass bei obenliegender Steuerwelle nach Fig. 43 infolge der nach unten gerichteten Öffnungen für die Ventilbetätigung ein starker Ölverlust stattfindet.

Diese Erwägungen lassen eine Lagerung der Steuerwelle über dem Zylinder als nicht sehr zweckmässig erscheinen. Die Anordnung der Steuerwelle unten im Kurbelgehäuse hat ausserdem noch den Vorzug, dass sich ihre Steuerräder zum Antrieb von Hilfsapparaten, als Pumpe und Magnetinduktor, verwenden lassen, was bei Kegel- oder Schraubenrädern nicht ohne weiteres möglich ist.

Die einfachste Steuerung wird somit beim stehenden Ventil erreicht. Für das hängende Ventil wird die Steuerung in jedem Falle komplizierter, am wenigsten noch durch Verwendung einer Schwinge, die oben auf dem Zylinder zu lagern ist.

Zahl und Lage der Steuerwellen.

Die bereits in den Figuren 13—17 angedeuteten Grundformen lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen, die mit einer und die mit zwei Steuerwellen, je eine zu beiden Seiten der Zylinderreihen. Die letztere ist die ältere. Der Fortfall einer Steuerwelle mit mindestens zwei Lagern, dem Antriebsrad und der Kapselung bedeutet natürlich eine ganz wesentliche Vereinfachung, Gewichtsersparnis und Verbilligung für den Motor. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass durch die Vereinigung des Antriebes unter Umständen Montageschwierigkeiten entstehen können, namentlich bei kleineren Maschinentypen. Liegen die Ventile und Wellen zu beiden Seiten der Zylinder, dann sind die einzelnen Teile weit von einander entfernt, die Ventilfedern sind frei, Befestigungs-

Digitized by Google

schrauben von Gehäusedeckeln, Zylinderflansche usw. sind bequem zugänglich. Bei einer einzigen Steuerwelle rücken die Steuerteile so nahe zusammen, dass die Zugänglichkeit meist zu wünschen übrig lässt; namentlich wenn noch Unterbrechergestänge und Reguliermechanismen für die Zündung an derselben Welle Platz finden sollen.

Diese Schwierigkeiten sind auch für die oben am Zylinder liegenden Steuerteile vorhanden. Besonders Anordnung C mit einem Einlassventile in der Mitte des Zylinders zeigt die sich aus der Anwendung einer Steuerwelle ergebenden Nachteile deutlich. Für die Stossstange des oberen Ventils bleibt nur Raum seitlich neben der Ventilkammer, so dass der Schwinghebel stark gekröpft werden muss, um wieder bis zur Zylindermitte zurückzureichen, wenn man die Gelenke parallel zur Längsachse der Maschine legt, was im Interesse einer genauen Herstellung und leichten Montage wünschenswert ist. Der Schwinghebel ist demnach ausser auf Biegung auch noch auf Drehung beansprucht.

Am ungünstigsten für die Zugänglichkeit erscheint die Anordnung B, da die Ventilkammern selbst noch einen grossen Raum beanspruchen, und die Steuerteile unter diesen Kammern versteckt liegen. Recht günstig für die Anwendung einer Steuerwelle ist die Anordnung E, bei der für die Steuerung eine ganze Seite zur Verfügung steht.

Für die Massenfabrikation kommt noch in Betracht die Gleichartigkeit der verwendeten Steuerteile, für die Billigkeit auch deren Zahl. Diese ist beim hängenden Ventil grösser als beim stehenden, es kommt die Schwinge mit ihrer Lagerung hinzu, auch der Ventilsitz mit der Spindelführung ist besonders zu rechnen. Die Anordnung B, die in Bezug auf die Steuerung noch etwas wohlfeiler ist als E, hat den Nachteil der schlechteren Zugänglichkeit. Am unzweckmässigsten ist wohl Anordnung C, da hier beide Arten von Ventilen Verwendung finden so dass die Teile alle verschiedenartig und an Zahl auch nicht gering sind. Ein Austausch der Ventile ist unmöglich, man muss doppelte Reserveteile mit sich führen.

Antrieb und Hilfsapparate.

Im Zusammenhang mit dem Antrieb der Steuerwelle muss auch der Einbau der Hilfsapparate besprochen werden, nämlich: der Kühlwasserpumpe, des Zündapparates und des Regulators. Ferner kommen noch in Betracht: ein Ventilator zur Verstärkung des natürlichen Luftzuges für den Kühlapparat und eventuell ein Antrieb für eine Schmierpumpe. Diese zahlreichen

Digitized by Google

Apparate sollen mit möglichst einfachen Mitteln von der Motorwelle angetrieben werden, und zwar mit verschiedenen Tourenzahlen. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass der Zündapparat in der Regel ein kleiner Magnetinduktor, mit I-Anker, mit bestimmter Tourenzahl und in fester Einstellung zur Welle laufen muss, dass er also nur mit Zahnrädern angetrieben werden kann. Auch für die anderen Apparate ist dieser Antrieb erwünscht, obwohl nicht unbedingt notwendig. Der sicherste und zuverlässigste Antrieb bleibt das Zahnrad, man wird es deshalb so weit wie möglich verwenden. Die Tourenzahl für die Pumpe und den Ventilator ist hoch, meist höher als die der Motorwelle. Von den verschiedenen Arten der Pumpe hat die Zentrifugalpumpe die grösste Verbreitung gefunden, weil sie die einfachste ist und den grossen Vorzug besitzt, gegen Verunreinigungen des Wassers ziemlich unempfindlich zu sein. Zahnrad- und Kapselpumpen geben eher zu Störungen Veranlassung, da sie leicht durch kleine Fremdkörper leiden, die in dem Kühlwasser kaum ganz vermieden werden können.

Es sind demnach im wesentlichen 5 Hilfsvorrichtungen zu betreiben, von denen eine, die Kontaktvorrichtung, bezw. der Abreissmechanismus unbedingt, eine zweite, der Magnetapparat, in den weitaus meisten Fällen in fixierter Einstellung gegenüber der Motorwelle laufen muss. Bei den anderen ist eine bestimmte Tourenzahl nicht vorgeschrieben. Diese Einteilung deutet schon darauf hin, in welcher Weise die Apparate zweckmässig anzuordnen sind. Es ist im allgemeinen nicht leicht, alle so anzubringen, dass jeder einzelne unabhängig vom anderen kontrolliert und eventuell weggenommen werden kann, denn der Platz ist immer beschränkt. Ausserdem will man doch mit möglichst wenig Antriebsrädern auskommen. Sehr oft findet man, dass jeder der Apparate mit einem besonderen Zahnrad angetrieben wird, dass hier und dort einer angeordnet ist, hintereinander, übereinander, wie es gerade bequem erschien. Bei Motoren mit zwei Steuerwellen hat man verhältnismässig viel Platz zur Verfügung, man kann die Apparate auf beiden Seiten der Maschine verteilen, ohne grosse Entfernungen mit den Rädern überbrücken zu müssen. Gewöhnlich erfolgt der Antrieb jedes einzelnen Apparates durch ein besonderes Zahnradpaar, das von der Steuerwelle aus die erforderliche Tourenzahl liefert. Eine früher sehr häufige Anordnung dieser Art ist in Fig. 45 wiedergegeben. Sie stellt eine Maschine nach Anordnung A dar, mit zwei Steuerwellen und nicht eingekapselten Rädern.

Die Kapselung, die eigentlich in das Kapitel über das Kurbel-

Digitized by Google

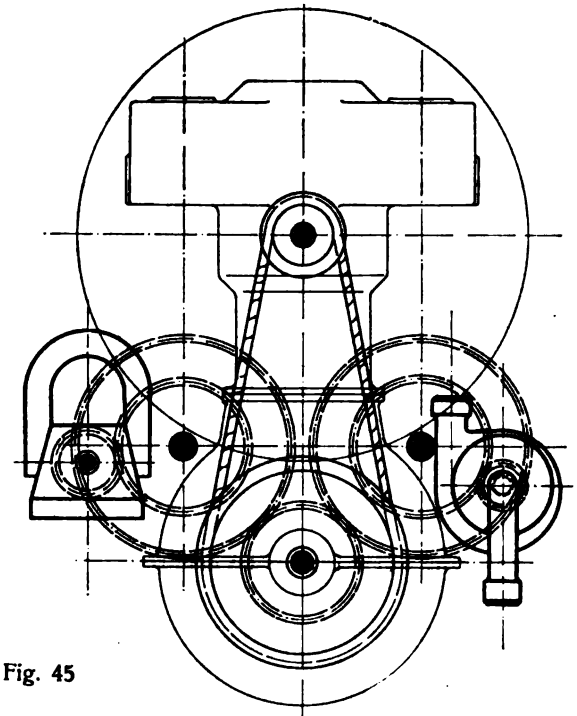
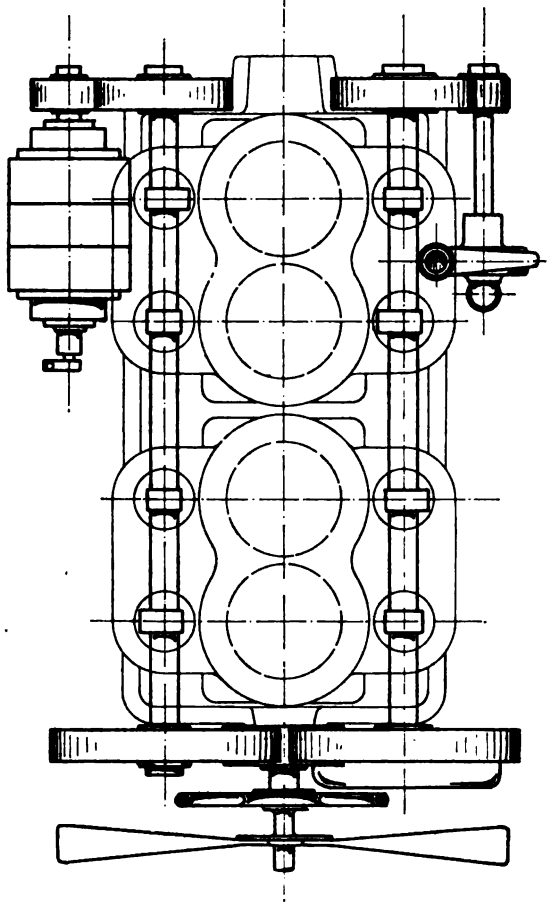


Fig. 45



Digitized by Google

gehäuse gehört, sei hier bereits berührt. Über die Notwendigkeit der Einkapselung der Zahnräder für den Antrieb der Steuerwellen gingen die Meinungen lange Zeit auseinander. Die konstruktive Durchführung der Kapselung ist stets schwierig, das Gehäuse wird komplizierter und die Zugänglichkeit leidet zweifellos. Indessen sprechen doch gewichtige Gründe für die Kapselung, vor allen Dingen die Abnutzung und dann das Geräusch der Steuerräder. Der Automobilmotor ist dem Staub und Schmutz der Strasse stets mehr oder weniger ausgesetzt. Selbst wenn man, was in neuerer Zeit stets zur Anwendung gelangt, von unten einen zuverlässigen Schutz anbringt, der den grössten Teil des Strassenschlammes wenigstens von der Maschine fernhält, so bleibt doch immer noch der Staub, der mit der Luft durch den Kühlapparat an der Maschine vorbeigeblasen wird, und der überall an öligen Stellen festklebt. Die Zahnräder und Steuerteile können aber ohne Öl nicht bleiben, der Staub setzt sich deshalb an ihnen fest, und ein rascher Verschleiss aller aufeinander reibenden Teile ist die Folge. Die Einkapselung bringt aber ausser dem Schutz vor dem Strassenstaub noch zwei weitere Vorteile: einmal die Dämpfung des Geräusches der laufenden Zahnräder, und ferner eine vorzügliche Schmierung: die laufenden Teile bekommen den im Innern des Kurbelgehäuses verteilten Ölnebel unmittelbar zugeführt. Diese Gründe sprechen sehr dafür, alle Räder einzukapseln und die konstruktiven Unbequemlichkeiten in Kauf zu nehmen.

Die Schwierigkeiten der Konstruktion gehen aus der Fig. 45 zur Genüge hervor. Es ist dort zunächst die einfachste Übertragung mit Hilfe von drei Rädern dargestellt, jede Steuerwelle wird unmittelbar von der Kurbelwelle angetrieben. Für den Magnetapparat, der hier mit der Tourenzahl der Kurbelwelle laufen soll, und für die Pumpe ist je ein besonderes Räderpaar vorgesehen. Diese Apparate können infolge ihrer Dimensionen nicht so nahe an das Hauptkurbelgehäuse herangesetzt werden, dass sie direkt mit einer der Steuerwellen gekuppelt werden könnten, ganz abgesehen zunächst von der Tourenzahl. Der Regulator wird am besten in dem einen Steuerrad untergebracht, die Kontaktvorrichtungen für die Zündung sind hier als Abreissmechanismen zu denken, die auf einer der Steuerwellen Platz finden. Würde man eine Schleifkontaktvorrichtung anwenden, dann würde diese an das Ende einer der Steuerwellen zu setzen sein, ähnlich wie der Regulator.

Der Antrieb des Ventilators macht besondere Schwierigkeiten. Er soll unmittelbar hinter dem Kühlapparat laufen, dessen Mitte ziem-

Digitized by Google

lich weit über der Kurbelwelle liegt und der die vordere Begrenzung der Motorhaube bildet. Eine direkte Zahnradübersetzung würde hier zu unzulässig grossen Raddurchmessern führen, ausserdem würde die Möglichkeit einer Einkapselung gänzlich ausgeschlossen sein. Trotzdem ist bei kleineren Wagen die Anordnung versucht worden, indem man mit den Wellenmitten möglichst nahe aneinander rückte, und schlieslich durch Anwendung von Zwischenrädern allzu grosse Durchmesser vermied (siehe Fig. 47). Es kommt noch ein zweiter Grund hinzu, den Ventilator nicht mit Zahnrädern, sondern mit einem Riemen anzutreiben. Infolge seiner hohen Tourenzahl und seinen beträchtlichen Durchmessers hat der Ventilator eine verhältnismässig grosse kinetische Energie, sodass er stark beansprucht wird, wenn er den unvermeidlichen plötzlichen Änderungen der Tourenzahl des Motors ohne eine elastische Übertragung folgen muss. Von der Anordnung, die Achse des Ventilators am Kühler anzubringen, ist man mehr und mehr zurückgekommen, trotzdem verschiedene Vorteile damit verbunden sind. Das Rohrsystem des Kühlers hat sich im allgemeinen als zu empfindlich gezeigt, um daran die Achse des Ventilators zu befestigen, da die starken Relativbewegungen des Kühlers gegen den Motor infolge der Rahmen-Deformationen während der Fahrt bei nicht genügend elastischer Übertragung häufig starke Beanspruchungen der Ventilatorachse und damit ein Lecken des Rohrsystems zur Folge hatten. Eine einfache Spannvorrichtung für den Riemenantrieb anzubringen ist sehr zu empfehlen, um das lästige und zeitraubende Kürzen des Riemens nach Möglichkeit zu vermeiden. Sehr elegant ist die Lösung der vorliegenden Aufgabe, die Arme des Schwungrades als Ventilatorflügel auszubilden, wobei ein besonderer Ventilator ganz vermieden wird. Diese Konstruktion setzt aber eine sorgfältige Abdichtung der ganzen Motorhaube und der unteren Verkleidung des Motors voraus, und das ist der Grund, warum man neuerdings den Schwungradventilator nur zur Unterstützung des vorn hinter dem Kühler angebrachten Ventilators benutzt.

Aus der Konstruktion nach Fig. 45, bei der die Anordnung der Übertragungsräder ohne Rücksicht auf die Möglichkeit der Einkapselung getroffen ist, kann man leicht die dabei auftretenden konstruktiven Schwierigkeiten erkennen. Die Räder an den verschiedenen Stellen haben grosse Durchmesser und laden ziemlich weit nach den Seiten aus, das Gehäuse müsste demnach sehr gross dimensioniert werden, wenn es über alle Räder hinweggreifen soll. Dazu kommen die Schwierig-

Digitized by Google

keiten der Montage. Es ist nicht gut möglich, die Räder erst auf der Welle zu befestigen, wenn diese bereits in das Gehäuse eingelegt ist, die Welle muss fertig eingebracht werden können. Das ist nur möglich, wenn das Gehäuse in der Wellenebene geteilt ist, oder wenn es grosse Öffnungen besitzt, durch die alle hinten befindlichen Räder durchgeschoben werden können. Beides ist nicht zu empfehlen, denn die Dichtung wird schwierig und die Bearbeitung teuer. Es bleibt nur übrig, schon die Anordnung der Räder mit Rücksicht auf die Einkapselung zu treffen. Zunächst ist es zweck-

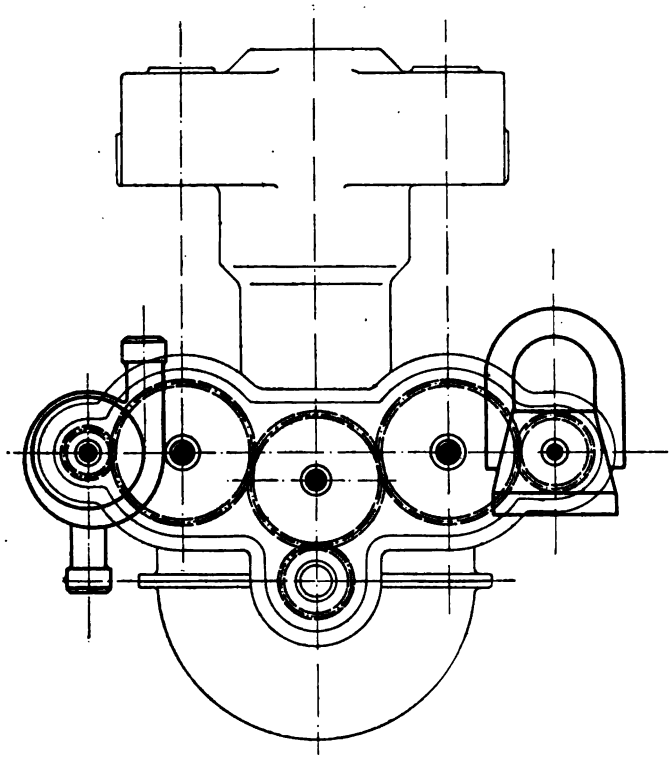


Fig. 46.

mässig, zwischen Kurbel- und Steuerwellen ein Zwischenrad einzuschalten, um die grossen Raddurchmesser und Gehäuse zu vermeiden, also die Räderanordnung nach Fig. 46 auszuführen. Trotzdem hierdurch die Ausführung infolge Vermehrung der Teile wieder teurer wird, ist die Anbringung des Zwischenrades doch von Vorteil, denn man wird nach jeder Richtung freier in der Platzbestimmung. Sowohl achsial als vor allem radial ist man mit der Festlegung der Radmitten längst nicht so gebunden als bei Ver-

Digitized by Google

wendung von nur drei Zahnrädern. Das Zwischenrad gestattet ausserdem durch Vergrösserung oder Verkleinerung seines Durchmessers dieselben Steuerräder für mehrere Motorgrössen zu verwenden. Die Pumpe selbst und der Magnetapparat müssen natürlich ausserhalb des Gehäuses bleiben, es muss also deren Welle wieder herausgeführt werden, wobei die Öldichtung Schwierigkeiten macht. Die Möglichkeit des bequemen Einstellens der Zahnräder ist auch zu beachten, bei anderen Anordnungen müssen oft nur für diesen Zweck besondere Deckel und Verschlüsse vorgesehen werden.

Die Anordnung der Apparate nach Fig. 45 ist, wenn auch mit vielen Rädern und Lagern durchgeführt, doch hinsichtlich eines Hauptpunktes nicht schlecht, das ist die Zugänglichkeit. Wenigstens lässt sich die Verbindung der Apparate mit dem Antrieb hier leicht so herstellen, dass man jeden einzelnen wegnehmen kann, ohne erst einen anderen demontieren zu müssen. Auch die Befestigungsschrauben sind gut zugänglich, da verhältnismässig viel Platz an den Seiten zur Verfügung steht. Recht wenig Konstruktionen entsprechen den Anforderungen an eine gute Zugänglichkeit. Die kleinen Verhältnisse der ganzen Anlage erschweren das Nachsehen und Instandsetzen der Hilfsapparate. Da es sich meist darum handelt, Reparaturen an diesen Apparaten während einer Fahrt vorzunehmen, so muss man in der Lage sein, nach Entfernen oder nur Aufklappen der Motorschutzhaube zu jedem einzelnen Apparat ohne weiteres hinzuzukommen, und ihn mit wenigen Handgriffen herauszunehmen. Alle Schrauben, die zur Befestigung und Regulierung oder Nachstellung dienen, müssen mit einem gewöhnlichen Schraubenschlüssel zu erreichen sein. Es ist erforderlich, dass die empfindlichen Apparate, vor allen Dingen der Stromerzeuger, frei dastehen, nicht in der Tiefe des Motorgehäuses zwischen Rahmenteilen und Röhren versteckt. Bei der Pumpe müssen die Stopfbüchse und die Rohranschlüsse gut sichtbar und erreichbar sein. Man sollte bestrebt sein, alle diese Apparate möglichst hoch an dem Kurbelgehäuse anzubringen, sodass sie wenigstens nach oben und nach einer Seite ganz frei liegen. Sie sollten so befestigt sein, dass sie ohne Ecken und Drehen nach einer Seite, möglichst nach oben, weggezogen werden können. Die Montage von oben muss für den Automobilmotor überhaupt die Grundregel bleiben. Von unten ist der Motor als unzugänglich anzunehmen, auch wenn man nicht einen vollständigen Abschluss in Gestalt einer Blechverkleidung anbringt; auf der Landstrasse ist es fast ausgeschlossen, Re-

Digitized by Google

paraturen unter dem Wagen liegend vorzunehmen. Selbst in der Garage ist es eine sehr unangenehme Aufgabe, von unten aus an dem Wagen zu arbeiten, es sei denn, dass eine besondere Grube vorhanden ist, über die der Wagen gefahren werden kann.

Die verschiedenen Apparate in einer allen Anforderungen entsprechenden Weise anzubringen, ist keine leichte Aufgabe, da der Platz knapp bemessen ist. Stehen beide Seiten des Kurbelgehäuses zur Verfügung, dann mag es noch gehen; will man aber mit einer Steuerwelle auskommen, also Ventilanordnung B, C und E anwenden,

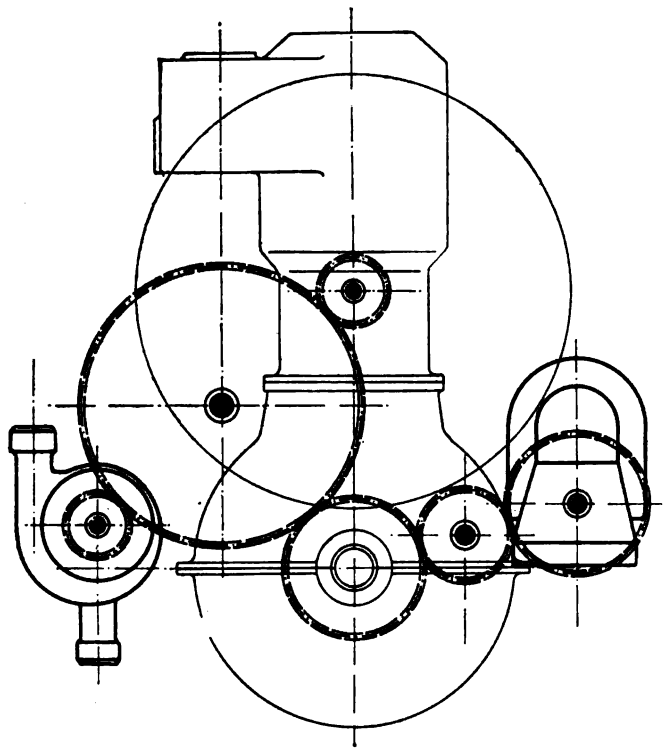


Fig. 47.

dann müssen alle Apparate auf einer Motorseite liegen, wenn man nicht mit Hilfe mehrerer Räder wiederum auf der anderen Motorseite einen Apparat antreiben will. Der Vorteil nur einer Steuerwelle wird dann beinahe wieder aufgehoben. Die geringste Zahl von Antriebsrädern ergibt sich, wenn alle in einer Ebene liegen und alle unter einander direkt im Eingriff stehen. Viele ausgeführte Konstruktionen zeigen, dass es bei guter Zugänglichkeit kaum möglich ist, alle Apparate auf einer Seite zu vereinigen. Wenigstens für den

Digitized by Google

Magnetinduktor muss die andere Seite zu Hilfe genommen werden. In Fig. 47 ist hierfür ein Beispiel gegeben, das einer wirklichen Ausführung entspricht, wobei sogar noch der Ventilator mit Zahnradantrieb versehen ist. Aus der Figur ist ersichtlich, dass man der Dimensionen des Magnetapparates wegen ohne Einschaltung eines Zwischenrades nicht auskommt. Ein besonderer Vorzug der Konstruktion ist jedenfalls die Anordnung aller Räder in einer Ebene, wodurch die prinzipiell beste Lösung der Aufgabe, die Schaffung eines besonderen Raumes für die Zahnräder, eines Radkastens, möglich gemacht wird. Auf diesem Wege kommt man mit der geringsten Anzahl von Rädern aus, und die Anordnung erlaubt zugleich in einfacher Weise eine Einkapselung aller laufenden Teile. Die Wellen für die Hilfsapparate können nach beiden Seiten der Kapseln am Hauptgehäuse vorbei heraustreten, sodass man die Hilfsapparate leicht anschliessen kann. Zweckmässig ist es, den Anschluss mit Hilfe kleiner Wellenkuppelungen zu bewirken, die es gestatten, die Hilfsapparate nach oben wegzuziehen, ohne die Welle mit dem Antriebszahnrad zu demontieren.

Es ist anzustreben, die Zahl der Antriebszahnräder möglichst zu beschränken; in diesem Sinne befriedigen die bisher genannten Konstruktionen nicht. Mehrfach ist versucht worden, die Anordnung mit einer Steuerwelle weiter auszugestalten, möglichst viele Apparate an eine Hilfswelle zu legen, und von dem Rad der Steuerwelle aus alle Hilfsapparate zu treiben. So lassen sich z. B. wie in Fig. 48, die zwei Wellentriebe übereinander anordnen und gleichzeitig die eine Welle, am besten die der Pumpe, unter dem anderen Apparat durchführen, sodass jeder der beiden Apparate von oben direkt zugänglich bleibt. Die Pumpe liegt dann zwar etwas tief, das ist aber wieder für das Ansaugen günstig. Die Ausbildung im einzelnen, namentlich die Lagerung der beiden Wellen am Kurbelgehäuse, bietet nur geringe Schwierigkeiten. Die Längenentwickelung wird bei dieser Anordnung kaum gesteigert, da beide Apparate zur Seite eines Zylinderpaares genügend Platz finden.

Der Regulator wird zweckmässig in dem grossen Rad der Steuerwelle untergebracht, der Abreissmechanismuss für die Zündung auf der Steuerwelle zwischen den Ventilnocken. Kommt eine Hochspannungszündung mit Verteilerkontakt zur Verwendung, so kann dieser an dem vorderen Ende der Steuerwelle, vor dem Regulator einen guten Platz finden. Die Anordnung nach Fig. 48 ist also ganz brauchbar, nur mit der Ventilanordnung B dürfte die Zugänglichkeit nicht allen Ansprüchen genügen. Die grossen Ventilkammern liegen

Digitized by Google

dann über dem ganzen Steuermechanismus und verdecken zusammen mit den Rohrleitungen, die ja von der Ventilkammer ausgehen, die Ventile und ihren Antrieb. Ventilanordnung E dagegen dürfte für die Steuerungsanordnung gut zu gebrauchen sein; sie bietet eine bequeme Zugänglichkeit für die Hilfsapparate. Es liegt schliesslich nahe, noch einen Schritt weiter zu gehen und mehrere Apparate von derselben Hilfswelle, also mit nur einem Zahnradpaar, zu betätigen. Das hat zunächst seine Schwierigkeiten wegen der

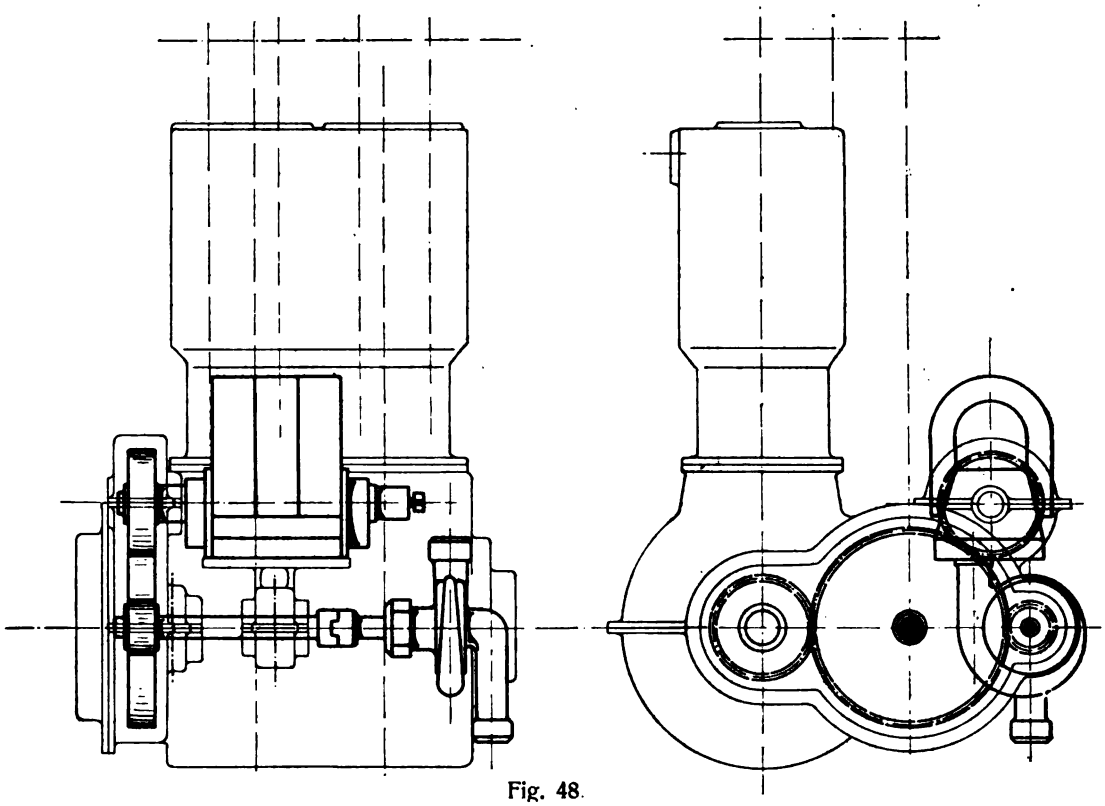


Fig. 48.

verschiedenen Tourenzahlen der Hilfsapparate. Die Zentrifugalpumpe soll meist mit etwas höherer Tourenzahl als die Kurbelwelle laufen, der Magnetapparat dagegen in der üblichen Ausführungsform gewöhnlich mit dieser Geschwindigkeit. Es lässt sich aber wohl eine Vereinigung denken, indem der Durchmesser des Flügelrades in der Pumpe soweit vergrössert wird, dass bei der Tourenzahl des Magnetapparates dieselbe Wassergeschwindigkeit erzielt wird wie vorher, vorausgesetzt, dass die Pumpe dann am Motor noch unter-

Digitized by Google

gebracht werden kann. Die Welle der Pumpe kann in diesem Falle bis zum Magnetapparat durchgeführt werden. Die Pumpe erhält zwei Stopfbüchsen oder die beiden Apparate müssen auf beiden Seiten des Antriebsrades untergebracht werden. Die Pumpe würde dann zweckmässig nach vorn gelegt werden, der Magnetapparat zur Seite des Kurbelgehäuses. Der Regulator könnte wieder in das Steuerrad kommen, oder auf die schnelllaufende Hilfswelle gesetzt werden. In diesem Falle wäre das vordere Ende der Steuerwelle für einen Schleifkontakt frei. Nachteilig ist bei der Anordnung die mit dem Vorrücken der Pumpe verbundene Vergrösserung der Baulänge des ganzen Motors. Gerade der Raum zwischen Kühlapparat und Motor darf nicht zu knapp bemessen sein, denn hier liegen besonders empfindliche Teile wie Ventilatorriemen und Schleifkontakt, für die eine gute Zugänglichkeit unerlässlich ist. Auch die Befestigung der Pumpe macht bei der Anordnung einige Schwierigkeit.

Die zuerst erwähnte Möglichkeit, die Welle durch die Pumpe durchzuführen, hat den grossen Nachteil, dass die Pumpe mit 2 Stopfbüchsen ausgeführt werden muss. Je weniger Dichtungsstellen, desto besser. Bei Durchführung der Welle des Magnetapparates würde zwar die Dichtung wegfallen, indess sind diese Apparate Normalien, von denen man nur schwer abweichen kann. Der Anschluss der Apparate müsste mit kleinen Kuppelungen erfolgen, die das seitliche Herausnehmen der Apparate gestatten.

Auf die konstruktive Ausbildung im einzelnen kann hier nicht eingegangen werden, es handelt sich zunächst nur um die Gesamtdisposition. Auch die Lagerung der Steuerwellen kann erst bei der Ausbildung des Kurbelgehäuses näher erörtert werden. Nur die Rücksichtnahme auf die Zündvorrichtung am Zylinder ist noch zu erwähnen. Der Einfluss der Lage der Steuerung auf die Platzbestimmung der Abreisskontakte ist eine unangenehme Zugabe bei der sonst sehr zuverlässigen Magnetabreisszündung. Das Zündgestänge muss einfach und leicht sein und kann sich nicht weit von der senkrechten Ebene der Steuerwelle entfernen. Steht nur eine Steuerwelle zur Verfügung, dann drängen sich alle Gestänge sehr nahe zusammen, Ventilnocken und Zündungsnocken sitzen dicht aneinder. Namentlich bei Zylindern mit Ventilkammern, die über den Steuerwellen vorgebaut sind, ist der Raum für die Zündgestänge sehr beengt. Es bleibt schon bei der Ventilanordnung A eigentlich nur der schmale Raum seitlich neben den Ventilkammern (vgl. Fig. 49); um die Befestigungsschrauben des Zündflansches nur einigermassen zugänglich zu halten, muss die ganze Kontaktvorrichtung etwas schräg angebracht

Digitized by Google

werden, so dass der isolierte Stift möglichst nach der Seite gerichtet ist. Man kann dann die Abreissstangen, die in der Figur nur mit ihren oberen Tellern zu sehen sind, senkrecht über der Steuerwelle lassen.

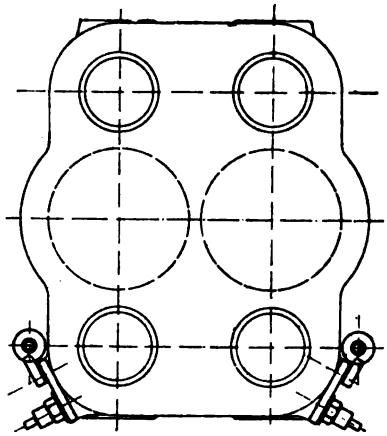


Fig. 49.

der ganze Fallmechanismus bleibt infolgedessen auch ziemlich einfach. Die Verstellvorrichtung für Vor- und Nachzündung liegt meist direkt über der Steuerwelle. Die Anordnung, Fig. 49, ist verhältnismässig gut zugänglich gegenüber den Konstruktionen der Ventilanordnung B. Bei dieser liegen sämtliche Ventile über der einen Steuer-

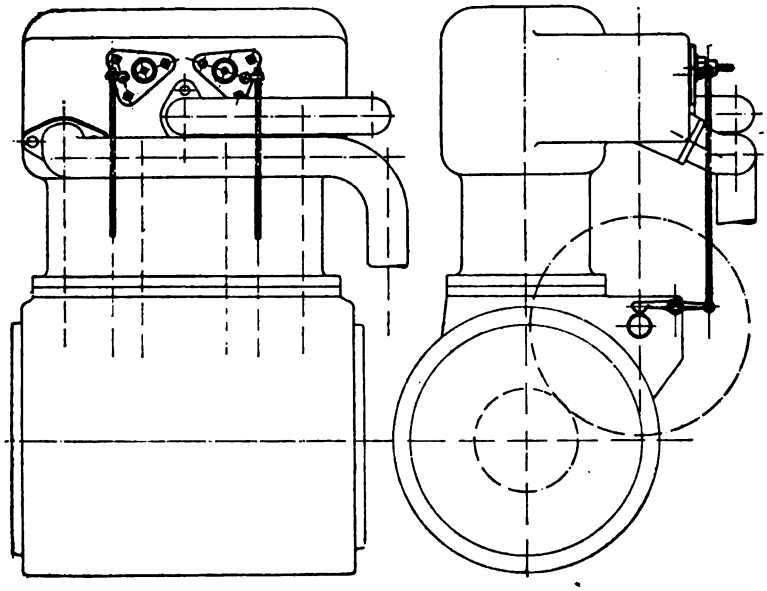


Fig. 50.

Digitized by Google

welle, der seitliche Platz zum Durchführen des Abreissgestänges fehlt. Entweder muss hier das Abreissgestänge durch die Ventilkammer geführt und der Abreisskontakt in die Deckel der Ventile gelegt werden, oder das Abreissgestänge muss seitlich an den Ventilkammern angeordnet werden. (Siehe Figur 50.) Der Platz für den Abreisskontakt oben auf der Ventilkammer ist für die Bedienung natürlich der allergünstigste. So zugänglich wie dort liegen die kleinen empfindlichen Hebel an keiner anderen Stelle. Aber die Zuführung des Gestänges durch die Ventilkammer wird bei Ventilanordnung B recht schwierig. Nur bei Ventilanordnung A ist

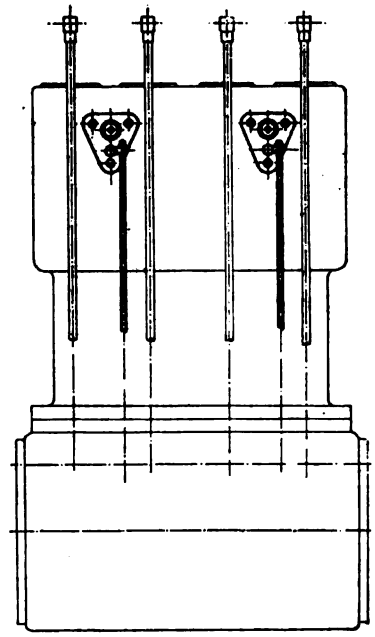


Fig. 51.

es möglich, eine wirklich gute Durchführung des Gestänges durch die Ventilkammer zu erreichen. Am einfachsten wird bei Ventilanordnung B die Konstruktion mit seitlicher Anbringung des Zündflansches an der Ventilkammer über dem Einlassventil, wie in Fig. 50. Hier genügt es, in das Unterbrechergestänge einen Doppelhebel einzuschalten, wobei man noch den Vorteil der Verwendung einer einfachen Zugstange für die Betätigung des Abreissmechanismus erhält. Allerdings kommt man dabei, wie die Figur erkennen lässt, sehr leicht in Konflikt mit den Rohrleitungen; der Hauptübelstand der Ventilanordnung B — zu grosse Zusammendrängung aller Organe — macht sich wieder geltend.

Digitized by Google

Die Zylinderform mit hängenden Ventilen hat den Nachteil, dass die Zündvorrichtung verhältnismässig nahe an der Kolbenbahn liegt. Dafür wird aber die Anbringung des Abreissgestänges sehr einfach. Es steht für diesen Zweck die ganze Seitenwand des Zylinders zur Verfügung. Die Zündflansche sind leicht zu kontrollieren und sehr zugänglich. Selbst wenn, wie bei Ventilanordnung E, noch die Ventildruckstangen an der Wand emporgehen (Fig. 51), ist doch die ganze Zündeinrichtung viel einfacher und weitaus zugänglicher als bei den vorher besprochenen Anordnungen. Man kann ohne weiteres in der Vertikalebene der Steuerwelle bleiben, es sind keine Ventilfedern oder dgl. in der Nachbarschaft und nach Wegnahme der Ventilstangen, die ohne Hilfswerkzeuge jederzeit zu entfernen sind, liegt der Zündflansch ganz frei. Bei keiner Ventilanordnung ist eine so gute Zugänglichkeit mit solcher Einfachheit zu erreichen. Wollte man die freie Seite der Zylinder bei Ventilanordnung B und C für die Zündung ausnutzen, dann wäre wieder eine zweite Steuerwelle auf dieser Seite erforderlich, d. h. die Vorzüge dieser Anordnungen würden wieder aufgehoben. Nur Konstruktionen, deren Zündflansche oben im Deckel über den Einlassventilen liegen, können mit der letzterwähnten an Zugänglichkeit konkurrieren.

Der Reguliermechanismus bei der Abreisszündung liegt meist unten in der Nähe der Steuerwelle. Daraus ergiebt sich für die Aufstellung der Hilfsapparate nach Fig. 48 ein gewisser Nachteil. Die Organe der Zündverstellung liegen stets hinter den Apparaten und sind erst bequem zu kontrollieren, wenn diese entfernt sind. Dieser Nachteil fällt aber nicht sehr ins Gewicht, denn der Mechanismus kann verhältnismässig kräftig gestaltet werden, ferner sind die Apparate vorn sehr schnell wegzunehmen, und vor allen Dingen ist ein Eingriff von oben immer möglich, wenigstens bei der Anordnung E. Durch zweckmässige Ausbildung der Konstruktion im einzelnen lässt sich übrigens auch bei einer weniger günstigen Anordnung eine leidliche Zugänglichkeit erreichen.

Fasst man die Betrachtungen hinsichtlich des Antriebes der Nebenapparate zusammen, so erscheint als erste Bedingung, sowohl im Interesse der Einfachheit als auch vor allem im Interesse der Billigkeit der Maschine, die Verwendung nur einer Steuerwelle. Die Antriebsräder sollen zusammen möglichst wenig Raum einnehmen und in einer Ebene liegen, so dass sie in einem gemeinschaftlichen Gehäuse eingekapselt werden können. Die Hilfsapparate sind nebeneinander, nicht hintereinander anzuordnen, jeder muss bequem einzeln in kürzester Zeit wegnehmbar sein. Der Einbau soll von oben er-

Digitized by Google

folgen, Zugänglichkeit von oben ist notwendig, ausserdem erwünscht von der Seite.

Pumpe und Stromerzeuger müssen durch Zahnräder angetrieben werden, der Ventilator durch Riemen, und zwar mit Spannvorrichtung. Ist genügender Platz vorhanden, so empfiehlt es sich, Pumpe und Magnetapparat nebeneinander durch dieselbe Hilfswelle anzutreiben, um an Zahnrädern zu sparen. Die Aufstellung ist möglichst so zu wählen, dass sie für alle Motoren mit anderer Zylinderzahl bestehen bleiben kann.

Von diesen Gesichtspunkten aus betrachtet, bietet die Ventilanordnung E, mit hängenden Ventilen im Zylinderdeckel, die meisten Vorteile. Bei ihr ist die Zugänglichkeit der seitlich sitzenden Apparate von oben vorhanden, sie braucht nur eine Steuerwelle, die Zündung ist gut zugänglich, sowohl oben am Zylinder, als auch unten am Reguliermechanismus. Eine Seite bleibt vollständig frei für die Rohranlage.

Rohrleitungen.

Die gute Ausbildung des Rohrnetzes ist eine der wichtigsten Aufgaben bei der Konstruktion des Automobilmotors, die aber leider sehr oft vernachlässigt wird. An der Art und Weise, wie die Rohre geführt sind, kann man am besten erkennen, ob die Maschine einheitlich von etwas höheren Gesichtspunkten entworfen ist, oder ob sie nur eine Zufallskonstruktion darstellt, bei der die einzelnen Teile, sowie sie für sich entstanden, aneinander gesetzt wurden. Bei vielen Konstruktionen hat man den Eindruck, dass die Rohrleitungen beim Entwurf gänzlich vergessen und erst nachträglich hinzugefügt wurden, so gut es eben gehen wollte.

Die Schwierigkeiten der Rohrführung sind leicht zu erkennen, es genügt zu sagen, dass die Rohrleitungen beinahe an jeder Stelle im Wege sind. Man ist bei den beschränkten Raumverhältnissen in der freien Formengebung sehr beengt; andererseits erfordern die vielen Anschlussstellen wieder, dass man mit den Rohrleitungen beinahe nach jeder Stelle am Motor vordringen muss.

Die Rücksicht auf geringes Gewicht bedingt, dass die Rohrleitungen so kurz wie möglich werden. Verbindungsstellen, Flansche oder Verschraubungen sind nur so viel ~~als~~ unbedingt notwendig anzuordnen; wenn es irgend geht, sollen ferner die Rohre möglichst in Gussstücken vereinigt werden. Um die Bewegungswiderstände der Gase gering zu halten, empfiehlt es sich, scharfe Ecken und Biegungen zu vermeiden. Die stets unzuverlässigen Anschlüsse und Verbindungen verlangen, dass alle Schrauben leicht mit den Augen kon-

Digitized by Google

trolliert werden können, und dass jede einzelne mit dem Normalschlüssel bequem zu erreichen ist.

Aus diesen Bedingungen ergeben sich besonders die Vorzüge des Doppelzylindergussstückes. Mehrere Gasleitungsrohre können in diesem Gussstück vereinigt werden, so dass nur ein gemeinsamer Anschluss für zwei Zylinder erforderlich ist, ebenso braucht man für Wasser-Zu- und Abführung nur je eine Verbindung. Anschlussrohre, die von mehreren Punkten nach einem Sammelrohr führen, werden zweckmässig gleich mit dem Sammelrohr aus einem Stück gegossen, selbst auf die Gefahr hin, dass etwas mehr Gewicht herauskommt. Überhaupt empfiehlt es sich, für alle Verbindungen den Guss zu bevorzugen, Lötungen sind einmal wegen der hohen Temperaturen, dann aber vor allem der Erschütterungen wegen selten genügend zuverlässig.

Gasleitungen.

Das allgemeine Schema für die Gasleitungen ist sehr einfach. Es besteht in einer Saugleitung mit dem Vergaser als Anfangspunkt und einer Auspuffleitung mit dem Schalldämpfer als Endpunkt. Zwischen beiden Leitungen arbeiten sämtliche Zylinder in Parallelschaltung. Demgemäss befinden sich auch in der Regel zu beiden Seiten der Zylinderreihe Sammelleitungen, von denen kurze Abzweigungen nach den betreffenden Ventilen jedes Zylinders führen. Diese Sammelleitungen liegen meist in gleicher Höhe mit den Ventilkammern, also direkt über den Hilfsapparaten und Steuermechanismen, deren Zugänglichkeit sie ganz erheblich stören, namentlich während des Betriebes, wenn ein Teil der Rohrleitungen heiss ist.

Die Möglichkeit, die Leitungsrohre beweglich zu machen, sodass sie gleichzeitig einen Verschluss für die Ventile bilden, war schon bei Gelegenheit der Ventile und ihrer Verschlüsse erörtert worden. Die dabei auftretenden Übelstände machen leider den Wert der ganzen Anordnung gering. Es ist zweifellos vorteilhafter, die Rohrleitungen fest zu verlegen, an die Wandungen der Zylinder mit sehr kräftigen Flanschen anzuschrauben und die Ventile mit ihren Steuerungen gänzlich unberührt davon zu lassen.

Die feste Rohrleitung wird jetzt auch beinahe ohne Ausnahme von den Konstrukteuren angewendet. Im einzelnen, hinsichtlich Führung und Teilung der Rohre, gibt es natürlich die mannigfaltigsten Ausführungen. Bei den Auslassventilen ist es besonders wichtig, die Gase so schnell als möglich aus dem Gussstück herauszubringen, ohne

Digitized by Google

Drosselung auf kürzestem Wege in einen geräumigen Behälter, damit eine schnelle Expansion und Abkühlung stattfinden kann. Viele Firmen verzichten deshalb auf eine Vereinigung zweier Auslassventilkammern innerhalb des Gussstückes und verwenden zwei getrennte Rohre. Unter Umständen kann es sogar geboten sein,eine getrennte Abführung vorzunehmen, wenn nämlich Gefahr besteht, dass das Ventil des einen Zylinders infolge des Überdrucks der aus dem Ventile des anderen ausströmenden Gase gehoben wird. Der Fall tritt leicht ein, wenn zwei Triebwerke mit um 360° versetzten Arbeitstakten nebeneinanderliegen. Beim Beginn des Auspuffs des einen

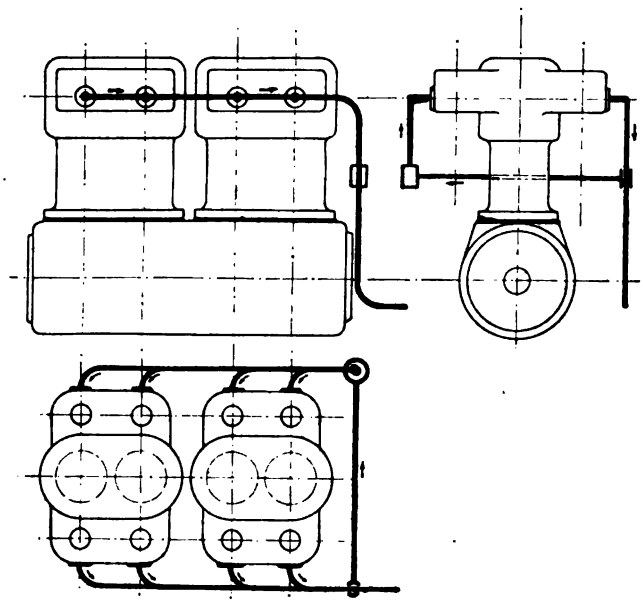


Fig. 52.

Zylinders findet im anderen gerade das Ansaugen statt, ein geringer Überdruck kann schon das Auspuffventil dieses Zylinders heben und Frühzündung hervorrufen. Bei der gewöhnlichen Anordnung mit um 180° gegeneinander versetzten Kurbeln besteht diese Gefahr nicht, es ist also hier zulässig, die Rohre zu vereinigen.

Selbstverständlich darf man mit der getrennten Abführung der Rohrleitungen nicht zu weit gehen. Man muss sich vergegenwärtigen, dass das einzelne Rohr vom Ventil bis zur gemeinsamen Sammelkammer drei Viertel der Betriebszeit überflüssig ist, dass es sozusagen zu drei Viertel totes Material darstellt.

Digitized by Google

Ebenso falsch ist es, etwa aus Schönheitsrücksichten oder Symmetriegründen scharfe Ecken in die Leitungen zu legen. Die Gase sind ohnehin gezwungen, ihre Strömungsrichtung sehr oft und plötzlich zu ändern, im Vergaser und an den Ventilen; die Rohrleitungen müssen deshalb möglichst gerade und glatt ausgebildet werden, um nicht unnötige Widerstände zu erzeugen. Auch die gerade verlegte Leitung sieht schön aus; überhaupt wird im Maschinenbau die einfachste und zweckentsprechendste Form stets auch die schönste sein.

Aus der Parallelschaltung der Zylinder ergibt sich zunächst eine naturgemässe Rohranlage, indem auf der einen Seite der Zylinder die Gaszuführung, auf der anderen die Gasabführung erfolgt. Alle Ventilanordnungen, die eine Trennung der Ein- und Auslassorgane in zwei Reihen zu beiden Seiten der Maschinenmitte aufweisen, sind zu dieser einfachen Konstruktion geeignet. In erster Linie die Anordnung A. Ganz zwanglos schliessen sich die Rohre an (Fig. 52); es lassen sich beliebig viel Zylinder noch anreihen mit einem Minimum von Rohraufwand. Der Vergaser am Anfang der Saugleitung ist nicht weit von den heissen Gasen des Auspuffs entfernt, die Zuführung vorgewärmter Luft kann in einem kurzen Rohre über das Schwungrad hin erfolgen. Für alle Maschinengrössen mit beliebig vielen Zylindern ist die Anordnung dieselbe, die Rohrleitungen ver-

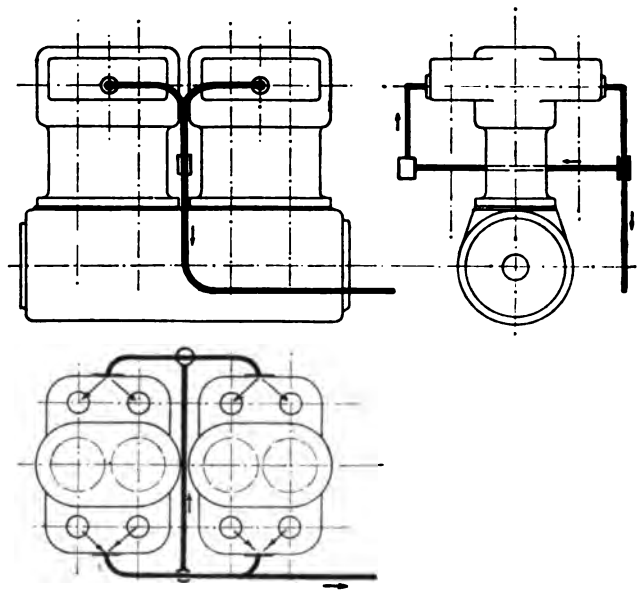


Fig. 53.

Digitized by Google

laufen längs der Maschine in einer Höhe, die die Zugänglichkeit der Steuerung und der Hilfsapparate wenig beeinträchtigt. Die abwärts führenden Rohre liegen seitlich, so dass sie die Nebenapparate nicht verdecken.

Von dieser einfachsten Anordnung unterscheiden sich die meisten Konstruktionen nur durch kleine Änderungen in der Lage des Vergasers und der abwärts führenden Leitungen. Sehr häufig findet man die Ausführung nach Fig. 53, bei der der Vergaser in der Mitte zwischen beiden Zylinderpaaren liegt und die Luftsaugleitung zwischen diesen nach dem Auspuffrohr hindurchgeht, dem ebenfalls oft eine symmetrische Anordnung gegeben wird oder das in der Anordnung von Fig. 52 ausgebildet ist. Diese Art der Rohranlage wird weitaus am häufigsten ausgeführt.

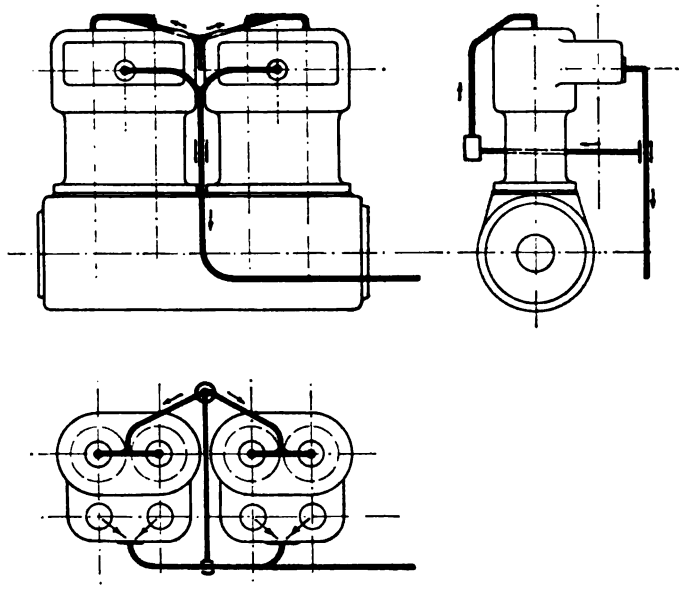


Fig. 54.

Die beiden erwähnten Rohranlagen lassen sich auch bei allen anderen Ventilanordnungen verwenden, bei denen nicht sämtliche Ventile einseitig liegen. Fig. 54 zeigt eine Anordnung für die im Deckel hängenden Saugventile mit Rohrleitungen, die gleichzeitig als Ventilverschlüsse ausgebildet sind; Fig. 55 ein Anordnung für Zylinderform D, und Fig. 56 für die Anordnung E.

Bei allen liegt noch das Schema der Parallelschaltung zugrunde, alle sind deshalb noch einfach und übersichtlich, aber sie sind nicht mehr alle zweckmässig, es treten bei den hängenden Ventilen

Digitized by Google

Konflikte der Rohrleitung mit der Steuerung auf, die von unten an der Seite des Zylinders hinaufgeführt sind. Das Gestänge müsste etwas seitlich gelegt werden, und müsste mit gekröpften Schwingen wieder nach der Ventilmitte zurückgehen (wie in Fig. 15). Das wäre umständlich und ausserdem liesse die Konstruktion doch noch

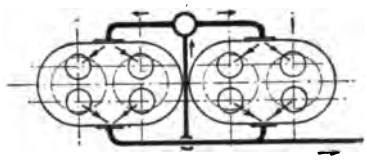


Fig. 55.

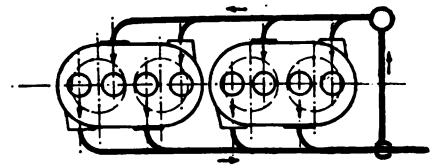


Fig. 56.

zu wünschen übrig, da die Steuerstangen hinter den Rohrleitungen schlecht zugänglich sind. Die andere Möglichkeit, mit dem Gestänge aussen um die Rohre herumzugehen, ist noch weniger zu empfehlen. Diese Schwierigkeiten sind nur zu umgehen, wenn man das Prinzip

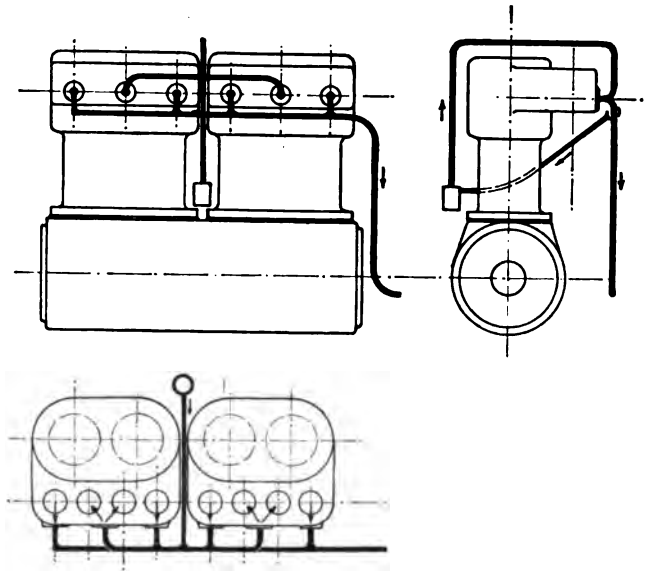


Fig. 57.

der zu beiden Seiten liegenden Sammelrohre verlässt und sämtliche Rohrleitungen auf eine Seite der Zylinder verlegt.

Schon die Ventilanordnung B zwingt zu dieser Konstruktion. Die Schwierigkeiten, die bei Verlegung sämtlicher Rohre auf eine Zylinderseite auftreten, haben ihre Ursache in dem sehr beschränkten Raum, der zur Verfügung steht. Die Flansche der einzelnen Rohr-

Digitized by Google

anschlüsse liegen sehr eng nebeneinander, ihre Befestigung und die Zugänglichkeit der Schrauben wird erschwert. Verschiedene Versuche sind gemacht worden, diesen Übelständen abzuhelfen: man hat die Flansche schräg gestellt, an Stelle der gewöhnlichen Schrauben Bügelkonstruktionen wie an den Ventilverschlüssen verwendet u. s. w. Am besten werden zweckmässig angeordnete gegossene Rohrstücke verwendet, da sie billig sind und allen Anforderungen genügen können. Immer aber bleibt der Übelstand, dass die Rohre ineinandergreifen und sich teilweise umschlingen, und zwar gerade an der Stelle des Motors, die ganz frei gehalten werden sollte, um die Zugänglichkeit der einzigen Steuerwelle zu

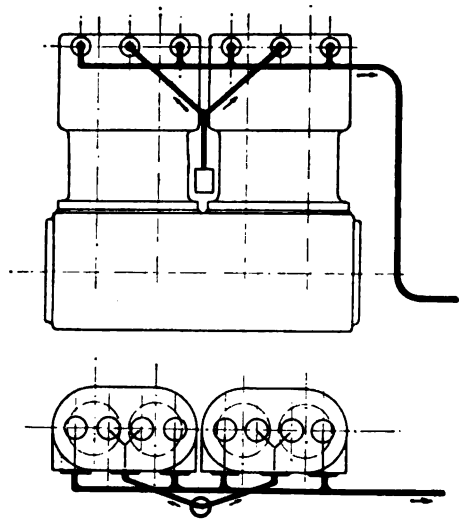


Fig. 58.

wahren. Liegt der Vergaser auch noch auf derselben Seite, dann ist der Weg zu den Ventilfedern so gut wie ganz versperrt.

Eine erhebliche Verbesserung ergibt sich durch Verlegung des Vergasers auf die andere Zylinderseite, etwa wie in Fig. 57 angedeutet. Die Rohre lassen sich dann in einer Vertikalebene unterbringen, indem das Auspuffrohr mehr nach unten, das Saugrohr mehr nach oben gelegt wird. Die Verbindung mit dem Vergaser kann zwischen den Zylindern erfolgen, wenn dieser Platz nicht schon durch das Vorwärmerohr ausgefüllt ist; in diesem Falle muss die Saugleitung über die Zylinder hinweggeführt werden und wird dadurch unangenehm lang. Die Anordnung entspricht im Ganzen der Bedingung der Zugänglichkeit.

Digitized by Google

Einwandfrei wird die Rohranlage an Motoren der Anordnung E, die sich wieder in dieser Beziehung auszeichnet. (Fig. 58.) Rohre, Vergaser und Vorwärmung liegen auf einer Seite der Zylinder, die andere bleibt vollständig frei für die Steuerung und Zündung, die also in jedem Falle nach Figur 51 ausgeführt werden kann. (Siehe auch Fig. 59.) Die Flansche sind sämtlich gut zugänglich, das Rohrnetz ist einfach und übersichtlich. Anordnung Fig. 58 steht dem Normalschema Fig. 52 in keiner Beziehung nach.

Wasserrohre.

Schon bei Besprechung der Zylinderform war auf die Art der Zuleitung des Wassers und auf seine Führung innerhalb des Zylindermantels hingewiesen worden. Hier handelt es sich noch um die Führung der Rohrleitungen ausserhalb, vom Kühler nach den Zylindern. Der Kreislauf des Wassers wird bei Anwendung eines Röhrenkühlers an der Vorderseite des Wagens sehr kurz. Vom tiefsten Punkte des Kühlers wird das Wasser der Pumpe zugeführt, die es durch die Zylinder und von diesen nach dem Kühlapparat weiter drückt. Die günstigste Stelle für die Einführung des Wassers ist der untere Teil des Wassermantels, und zwar empfiehlt es sich, das frische Wasser in der Nähe der Auslassventile zuströmen zu lassen. Die bereits erwähnte Anordnung, das Wasser von oben in die Zylinder eintreten zu lassen, und ebenso wieder oben abzuführen, bietet den Vorteil, dass beim Versagen der Pumpe der Wassermantel stets noch gefüllt bleibt und das Wasser eine Zeit lang verdampfen kann. Von grösserer Wichtigkeit ist jedenfalls, dass die Anschlussflansche bei dieser Anordnung alle oben und daher sehr zugänglich liegen.

Meist liegt bei Anwendung des Röhrenkühlers der Zylinder tiefer wie der Wasserspiegel im Kühler, es wird also auch bei Zuführung des Wassers in den unteren Teil des Wassermantels das Wasser genügend hoch stehen, wenn die Pumpe versagt. In dem Falle, dass das Wasser durch die untere Verbindung nachfliessen kann, steht sogar zur Verdampfung eine erheblich grössere Wassermenge zur Verfügung, als wenn die Zylindermäntel allein mit Wasser gefüllt sind. Jedenfalls sollte, wenn irgend möglich, das Kühlwasser unten zugeleitet werden. Die Figur 59 zeigt die Rohrleitungen, wie sie zweckmässig bei der Zylinderform E ausgebildet werden können. Zur Entleerung des ganzen Systems genügt ein Hahn an der tiefsten Stelle des Kühlers, wogegen bei der Zuleitung von oben an jedem Zylindermantel ein besonderer Ent-

Digitized by Google

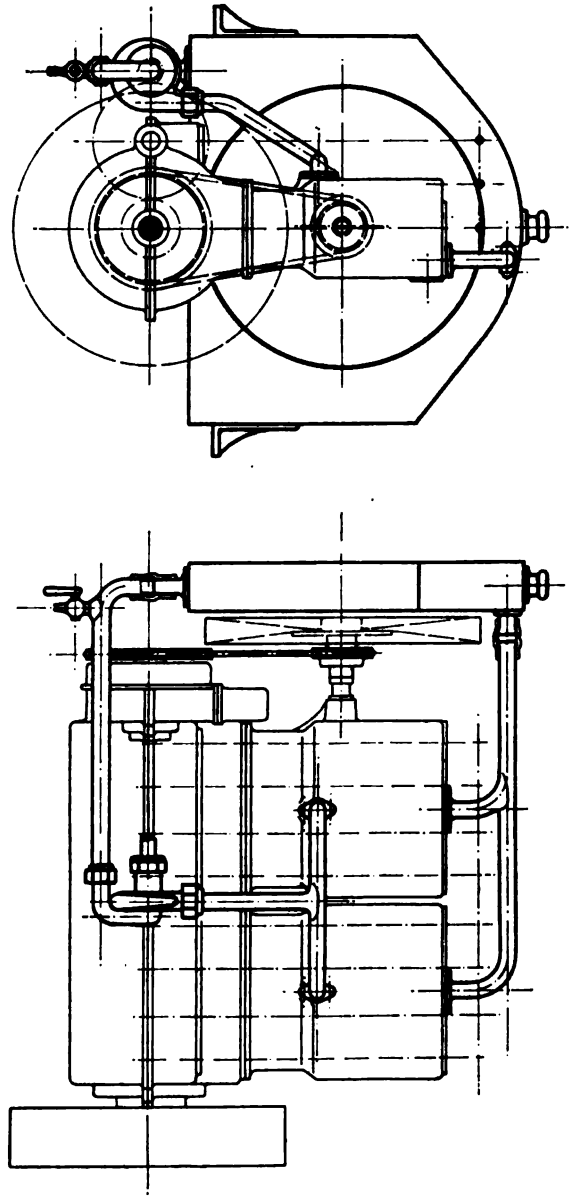


Fig. 59.

Digitized by Google

leerungshahn angebracht werden muss. Der Wasserspiegel im Kühler steht genügend hoch über den Zylindern, sämtliche Flansche sind, da an der Seite keine Ventile liegen, gut zugänglich.

Bei der Ausbildung der Rohranlage sind noch zwei Punkte zu berücksichtigen. Einmal ist es notwendig, den Rohren zwischen Kühler und Motor eine gewisse Elastizität zu verleihen, um die Relativbewegungen der beiden während der Fahrt auszugleichen. Am einfachsten geschieht dies durch ein kurzes Stück Gummischlauch, das mit 2 Schellen an den Rohren festzuklemmen ist. Diese Konstruktion ermöglicht auch eine leichte Trennung der Rohre, wenn der Kühler einmal entfernt werden muss.

Ferner ist der verschiedene Widerstand der parallelen Zweigleitungen zu berücksichtigen und eventuell auszugleichen. Hierfür sind oft kugelförmige Erweiterungen in den Rohren angebracht, die eine Beruhigung des strömenden Wassers und einen gleichmässigen Abfluss nach der Zweigleitung gewährleisten sollen. Einfacher ist es jedenfalls, in die kürzere Leitung einen kleinen Messingring zur Drosselung des Wasserstromes einzulegen, dessen Öffnung leicht durch einen Versuch bestimmt werden kann. Diese Drosselung soll an der Eintrittsstelle des Wasserstromes liegen. Beim Austritt aus dem Zylindermantel ist es zweckmässig, möglichst geringe Widerstände zu haben, damit ev. sich bildender Dampf ungehindert abströmen kann. Es dürfte sich vielleicht sogar empfehlen, die Rohrleitungen von den Zylindern nach dem Kühlapparat derart zu dimensionieren, dass der Querschnitt von dem ablaufenden Wasser nie vollständig ausgefüllt ist.

Kleinere Hilfsleitungen.

Die Ausbildung der übrigen Rohrleitungen ist im allgemeinen nicht schwierig und beeinflusst die Disposition der Maschine nur in geringem Masse. Mit möglichst wenig Leitungen auszukommen und alle Verbindungsstellen gut zugänglich zu halten, muss das Hauptbestreben bleiben. Die Benzinzuleitung vom Vorratsbehälter nach dem Vergaser soll reichlich dimensioniert sein und ohne Luftsäcke. Die Anschlüsse an den Behälter und den Vergaser müssen möglichst frei liegen, ein Abschluss- und ein Entleerungshahn dürfen nicht fehlen.

Die Schmierung des ganzen Wagens soll von einer Zentralstelle aus geschehen, sie vereinfacht sich mit fortschreitender konstruktiver Durchbildung des Motors immer mehr. Kugellager bedürfen keiner besonderen Schmierleitung, zudem liegen sie meist an Stellen, wie im Motor- und Getriebegehäuse, wo sie durch umher-

Digitized by Google

spritzendes Öl genügende Schmierung erhalten. Die Ölversorgung beschränkt sich mehr und mehr auf den Motor, der für die Kolben und die Kurbelwelle ständig frisches Öl braucht.

Die Schmierung im Innern des Kurbelgehäuses war bei Gelegenheit des Triebwerks schon erörtert und auch die Methode der automatischen Zuführung des Öls erwähnt. Erfolgt die Zuleitung des Öls durch den Druck der Auspuffgase, so wird eine dünne Leitung vom Auspuffrohre nach dem Ölreservoir abgezweigt, in die ein Sieb und ein leichtes Rückschlagventil eingeschaltet ist. Vom Ölreservoir erfolgt dann die Verteilung des Öles in die einzelnen Schmierleitungen am besten durch Tropfstellen, an denen der Ölzufluss zu jeder Leitung eingestellt und kontrolliert werden kann. Neuerdings sind viele Firmen dazu übergegangen, um einen stets der Tourenzahl des Motors genau entsprechenden Ölzufluss zu sichern, einen vom Motor mechanisch angetriebenen Schmierapparat zu verwenden, der durch kleine Kolbenpumpen oder Becherwerke den Schmierleitungen das Öl zuführt.

Oft werden an die Auspuffdruckleitung noch mehr Hilfsvorrichtungen angeschlossen; auch das Benzin wird häufig unter Überdruck gesetzt, so dass der Behälter tiefer als der Vergaser liegen kann; ferner wird oft ein Wasserreservoir angeschlossen, aus dem beim Bremsen eine geringe Quantität Wasser in die Bremsscheiben gespritzt wird. Alle diese an sich recht guten Einrichtungen erfordern aber ein kompliziertes Rohrnetz, das nur bei vorzüglicher Arbeit und zuverlässiger Wartung Sicherheit für gutes Funktionieren bietet.

Im allgemeinen ist auch hier das Einfachste das Beste, und jede sich bietende Möglichkeit ohne komplizierte Hilfsmittel auszukommen, sollte soweit als irgend angängig ausgenutzt werden. Die Verlegung aller dieser Rohre richtet sich naturgemäss nach der Konstruktion des Wagens. Die Befestigung erfolgt mit kleinen Schellen und Schrauben in möglichst geringen Abständen, um Eigenschwingungen der Rohre, die leicht Brüche zur Folge haben, nach Möglichkeit auszuschliessen.

Das Kurbelgehäuse.

Auf die Ausbildung des Kurbelgehäuses ist bei den Automobilmotoren noch weit mehr Gewicht zu legen, als bei stationären Maschinen, bei denen der Rahmen lediglich zur Aufnahme und Übertragung der Kräfte dient und die Forderung einer öldichten Kapselung seltener auftritt. Das Gehäuse des Automobilmotors ist gleichzeitig

Digitized by Google

Rahmen, Kapselung und Träger der ganzen Maschine. Diese vielseitige Aufgabe ist zu lösen unter der allgemeinen Bedingung grösster Zugänglichkeit der inneren Teile und mit Rücksicht auf möglichst geringes Gewicht. Danach hat sich die Wahl des Materials zu richten, vor allem aber die Gesamtanordnung der einzelnen Organe. Die Frage, in welcher Weise die Montage der ganzen Maschine am zweckmässigsten vorzunehmen ist, hat verschiedene Antworten gefunden, es gibt aber viele Ausführungen, bei denen die zweckmässige Aufstellung im Fahrzeug nicht oder nur ungenügend berücksichtigt ist. Bei den besseren Konstruktionen tritt jedoch die Rücksichtnahme auf den Einbau ins Fahrzeug mehr und mehr hervor.

Von einer guten Konstruktion muss verlangt werden, dass alle wesentlichen Teile im Fahrzeug schnell einer Revision unterzogen werden können. Besonders der Motor muss in allen Teilen leicht zu kontrollieren sein, ohne viele Vorbereitungen. Auch die erste Montage des Motors in der Fabrik und jede Untersuchung bei einer Reparatur muss schnell und einfach erfolgen können. Wenn, wie es oft der Fall ist, Stunden oder sogar Tage erforderlich sind, um zu einem defekten inneren Teile zu gelangen, dann entstehen durch diese Vorbereitungen die gefürchteten hohen Reparaturkosten, über die so häufig geklagt wird.

Die Schwierigkeiten, den in das Fahrzeug eingebauten Motor im Inneren zu untersuchen, bestehen hauptsächlich darin, dass die zahlreichen Hilfs- und Nebenapparate und Rohrleitungen den Motor von oben und an den Seiten vollständig umgeben, und dass ein Teil des Gehäuses, der als Träger des Ganzen ausgebildet ist, nicht entfernt werden kann, wenn man den Motor im Fahrzeug untersuchen will. Die am wenigsten verdeckte Seite ist die untere; es liegt daher nahe, die Konstruktion so auszubilden, dass man in das Innere des Motorgehäuses von unten gelangen kann. Diesem Gedanken kommt das Bestreben entgegen, die Hauptteile möglichst direkt im Rahmen aufzuhängen, ohne Vermittelung von besonderen Hilfs- oder Unterrahmen, die in der ersten Zeit des Automobilbaues die Regel bildeten. Die Achse der Kurbelwelle liegt in den meisten Fällen etwas tiefer als die Hauptträger des Rahmens, so dass also die kürzeste Verbindung vom Träger nach dem Kurbelgehäuse zum Gehäuseoberteil führt. Deshalb wird zweckmässig der obere Teil des Kurbelgehäuses als Träger ausgebildet, der untere nur als Kapsel, die ohne Schwierigkeit nach unten zu entfernen ist. Dann ist es möglich, nach Entfernung dieses unteren Deckels zu der Kurbelwelle zu gelangen. Die vollständige Durchführung des Gedankens erfordert natürlich,

Digitized by Google

dass die Kurbelwelle mit besonderen Lagerdeckeln an dem oberen Kurbelgehäuse festgehalten wird (vergleiche Figur 60), damit sie beim Wegnehmen des unteren Gehäuseteils nicht herunterfällt. In dieser Form ist die Konstruktion an sich als gut und richtig zu bezeichnen, der Weg der Kräfte im Gehäuse ist kurz, sie werden direkt aufgefangen und auf das Rahmengestell übertragen.

Leider hat die Konstruktion zwei grosse Nachteile; erstens kann man von unten an das Fahrzeug nur sehr schlecht herankommen, zweitens aber liegt die untere Kurbelgehäusehälfte überhaupt nicht

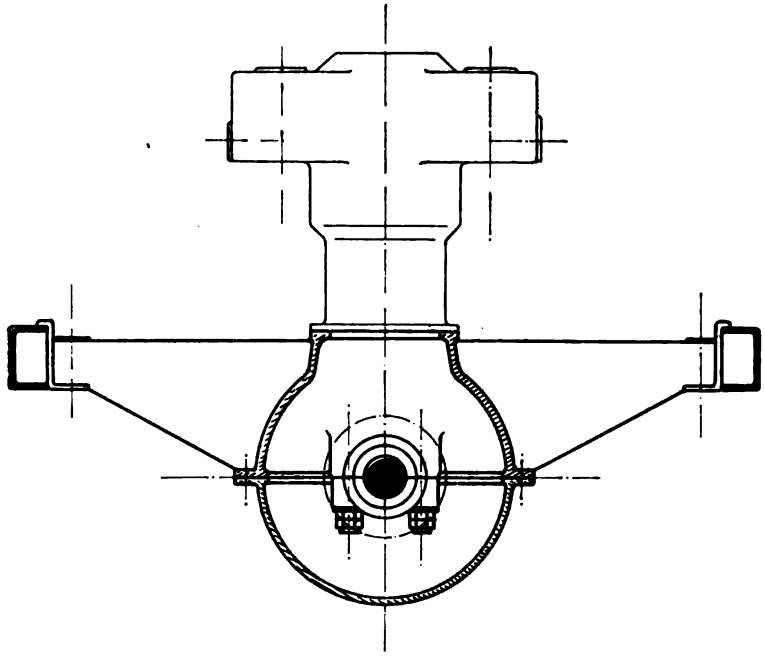


Fig. 60.

unmittelbar frei, sobald das Fahrzeug, wie es jetzt fast ausnahmslos geschieht, zum Schutze gegen den Schmutz der Strasse nach unten durch eine Blechverschalung abgeschlossen ist. In diesem Falle müsste also zuerst das grosse Schutzblech abgenommen werden, um an das Kurbelgehäuse zu gelangen, und das ist häufig keine geringe Arbeit. Aber auch nach Entfernen der Verschalung ist es sehr unbequem von unten an dem Wagen zu arbeiten, denn eine Grube, die in der Fabrik für diesen Zweck ohne weiteres angelegt werden kann, steht nicht immer zur Verfügung.

Digitized by Google

Dazu kommt noch, dass das Kurbelgetriebe ein verhältnismässig sehr betriebssicherer Teil der Maschine ist, der selten zu Störungen Veranlassung giebt und im Falle einer Reparatur doch vollständig herausgenommen werden muss. Die Zugänglichkeit von unten wird im besten Falle eine Besichtigung ermöglichen, nicht aber eine Reparatur. Als ein weiterer Uebelstand kommt hinzu der grosse Raumbedarf genügend dimensionierter Tragarme, der bei der Aufstellung der Nebenapparate recht störend empfunden wird. Die Zugänglichkeit von unten wird also in der Regel durch eine Verminderung der Zugänglichkeit in den oberen Teilen erkauft, die an sich viel empfindlicher sind als die inneren Organe.

Der natürliche Einbau der Maschine und aller Teile im Fahrzeug bleibt der von oben. Was im Einzelnen schon von dem Aufbau der kleineren Apparate am Motor gesagt wurde, gilt in gleicher Weise von der ganzen Maschine; sie wird am besten von oben her auf den Rahmen gesetzt, nicht von unten eingehängt. Beim Getriebe, das gewöhnlich unter dem Wagenkasten sitzt, liegen die Verhältnisse anders, dort wird es im allgemeinen vorteilhafter sein, das ganze Stück von unten anzuhängen. Sehr vorteilhaft ist es, wenn die vorderen Teile der Maschine, der Kühler u. s. w., einzeln von oben auf den Rahmen gesetzt werden können, ohne dass erst seitliche Verschiebungen nötig sind. Will man zum Kurbelgetriebe gelangen, dann müssen allerdings erst die Zylinder mit sämtlichem Zubehör fortgenommen werden. Dieser Nachteil ist aber nicht sehr bedeutend, denn Reparaturen an diesen Teilen sind selten und von Zeit zu Zeit muss doch eine gründliche Reinigung der ganzen Maschine vorgenommen werden, bei der dann auch etwaige Mängel an den Lagern, den Pleuelstangen u. s. w. leicht konstatiert werden können. Selbstverständlich wird bei der Durchführung des erwähnten Grundgedankens der Montage von oben, der Motor am besten an dem unteren Teil des Kurbelgehäuses aufgehängt, so dass man wirklich in der Lage ist, die ganze Maschine von oben auf den Rahmen aufzubauen. Für alle Revisionen ausserhalb der Fabrik fällt das sehr ins Gewicht, da gewöhnlich kein Krahn zum Herausheben des ganzen Motors zur Verfügung steht und meist auch nicht ein geeigneter Platz, um die ganze Maschine bequem und sicher aufzustellen.

Mit dieser Anordnung gewinnt man reichlich Platz für die Aufstellung aller Nebenapparate. Es ist nicht zu befürchten, dass die Konstruktion hier in einen Kampf um den Milimeter ausartet, wie das bei kleineren Motoren so oft vorkommt.

Digitized by Google

Die Ausbildung des Gehäuses im Einzelnen hat sich natürlich nach den inneren Teilen zu richten, nach der Lage und Zahl der erforderlichen Schnittfugen u. s. w. Die hierbei massgebenden Rücksichten erstrecken sich zuerst auf einfache und billige Bearbeitung. Es ist durchaus nicht gleichgültig, wieviel Schnittebenen zu bearbeiten sind, und ob das Werkstück bei der Bearbeitung mehrmals umgespannt werden muss, da die Bearbeitungskosten eines Kurbelgehäuses sehr beträchtlich sind. Viele ausgeführte Konstruktionen nehmen überhaupt keine Rücksichtnahme auf diesen Punkt, häufig sind Öffnungen angebracht an den Seiten, von oben, schräg und schief, wie es gerade erforderlich war. Die Zahl der Schnittebenen im Gehäuse sollte auf das geringste Mass beschränkt werden, da stets die sauberste Bearbeitung beider aufeinanderliegender Teile notwendig ist. Bei kleineren Maschinen kann es durchaus zweckmässig sein, den Schnitt überhaupt zu vermeiden und die Welle durch seitliches Einschieben in das Gehäuse zu bringen. Es wird dadurch ganz erheblich an Bearbeitungskosten gespart. Allerdings ist es dazu erforderlich, dass die Welle mit allen aufgesetzten Stücken ausserhalb des Gehäuses vollständig fertig gemacht werden kann, denn in dem engen Gehäuse ist ein Montieren einzelner Teile so gut wie ausgeschlossen. Auch ein Festspannen der Lager ist nicht möglich, beim seitlichen Einschieben wird stets mit etwas Luft in den Lagerstellen zu rechnen sein, damit es überhaupt bequem ausgeführt werden kann. Bei der Verwendung von Kugellagern, bei denen eine gewisse leichte Beweglichkeit der äusseren Laufringe in ihren Lagerstellen verlangt werden muss, ist diese Art der Ausführung sowieso unerlässlich. Besonders eignet sie sich für Steuerwellen, die man recht gut auf Kugellagern in der angegebenen Weise lagern kann.

Für die Kurbelwelle dürfte es allerdings nicht von Vorteil sein auf den Hauptschnitt zu verzichten, und sie auch seitlich in das Gehäuse einzuschieben. Die Schwierigkeiten beim Anbringen der Schubstangen, die doch erst nachträglich befestigt werden könnten, werden zu gross, weil das Gehäuse zu eng ist. Es ist vorteilhaft, den Hauptschnitt durch das Kurbelgehäuse beizubehalten, und ihn zur Grundlage der Bearbeitung zu wählen. Die Schnittebene zwischen Kurbelgehäuse und Zylinder ist diesem Schnitt parallel, die Bearbeitung der beiden Seiten ist also ohne weiteres auf einer Fräs- oder Hobelmaschine möglich, das Umspannen für die Bearbeitung der zweiten Ebene ist sehr einfach. Sind noch andere Arbeitsflächen vorhanden, z. B. für die Anbringung von Hilfsapparaten, dann wird man natürlich

Digitized by Google

suchen, diese ebenfalls parallel zu den beiden anderen Arbeitsflächen zu machen, damit möglichst alles mit einer Aufspannung bearbeitet werden kann. Ausser diesen parallelen Flächen wird man nur noch senkrecht dazu stehende verwenden, da diese verhältnismässig leicht einzustellen sind, oder sogar mit derselben Einspannung bearbeitet werden können. Alle weitere Bearbeitung sollte sich auf das Ausbohren beschränken, sämtliche Hilfswellen sollten, wenn irgend möglich, nur seitlich eingeschoben werden. In manchen Fällen lässt sich eine Hilfswelle auch mit in den Hauptschnitt durch die Kurbelwelle legen, wie das bereits in Figur 48 angegeben ist; damit ist natürlich der Vorteil der leichten Montage auch für die Hilfswellen ohne besondere Kosten ermöglicht.

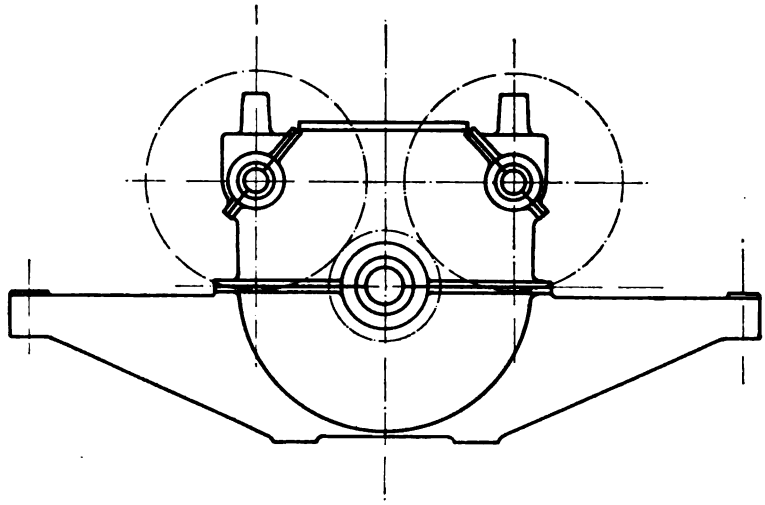


Fig. 61.

Die Konstruktion hat nur den Nachteil, dass die Steuerwelle sehr tief und weit ab von der Zylindermitte zu liegen kommt. Dadurch kommen auch die Nebenapparate verhältnismässig weit weg vom Motor und die Ventilkammern müssen weiter herausgezogen werden. Jedenfalls ist aber die Anordnung erheblich besser, als solche mit schräg liegenden Schnitten, wie etwa in Fig. 61, bei der es nur mit besonderen komplizierten Einspannungs-Vorrichtungen möglich ist, die genaue Lage der Steuerwelle einzuhalten. Ein Vertikalschnitt durch die Steuerwelle kann auch nicht empfohlen werden (Fig. 62), da dieser Schnitt bereits in die Rundung des Kurbelgehäuses eindringt; man ist gezwungen, einen Winkelschnitt auszuführen, der natürlich stets in bezug auf die Dichtung zu wünschen übrig lässt.

Digitized by Google

Die billigste Ausführung des Gehäuses entsteht, wenn die Hilfswelle in achsialer Richtung eingeschoben wird. Am besten ist es, die Welle so hoch über die Hauptschnittebene zu legen, dass das Antriebsrad noch über dieser liegt, man ver-

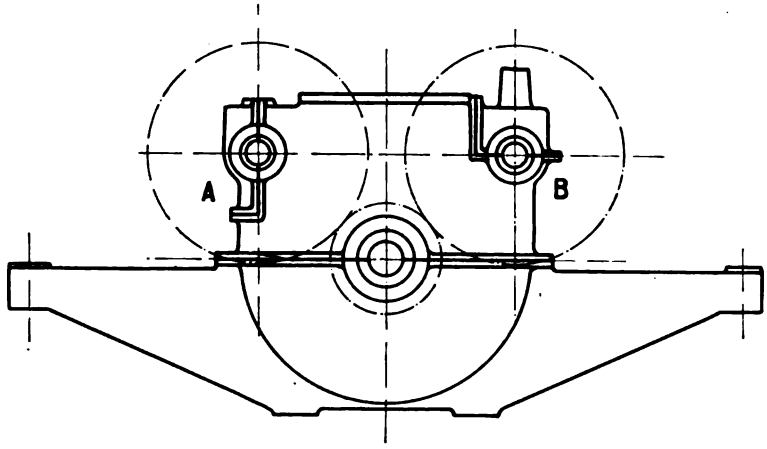


Fig. 62.

meidet dann die etwas schwierige Durchdringung der Hauptschnittebene mit dem Deckel, der vorn vor dem Rad vorzusehen ist. Eine Steuerwelle, die nach Fig. 63 zusammengesetzt ist, lässt sich ohne Schwierigkeiten vor dem Einschieben in das Gehäuse fix und

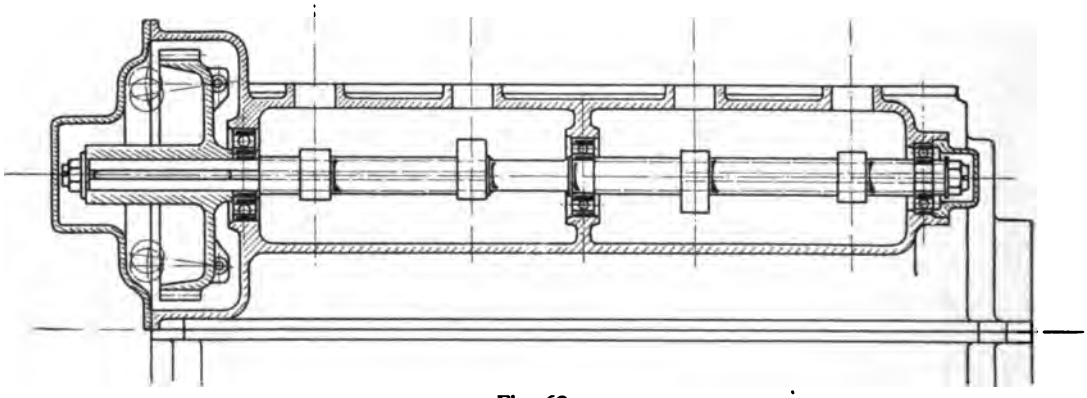


Fig. 63.

fertig montieren, sie ist ausserdem leicht einzuschieben, wenn die Kugellager nacheinander von etwas zunehmendem Durchmesser gewählt werden. Vorausgesetzt ist bei solchen Konstruktionen, dass die von der Welle angetriebenen Teile, hier also Steuergestänge usw., ihre

Digitized by Google

Führung im Gehäuse allein finden, und dass sie beim Einschieben der Welle einzeln leicht entfernbar sind. Allerdings hat das Einschieben den Nachteil, dass eine solche Welle aus dem fertig eingebauten Motor nicht ohne weiteres entfernt werden kann, da der zum Herausziehen nötige Platz kaum frei zu halten ist. Wenn möglich, wird man die Konstruktion des vorderen Rahmens so wählen, dass wenigstens nach Wegnahme des Kühlers die Welle herausgezogen werden kann. Eine Notwendigkeit dazu tritt übrigens äusserst selten ein, die Steuerwelle ist ebenfalls ein sehr betriebssicherer Teil, der kaum zu Störungen Veranlassung geben wird. Die Möglichkeit, die Steuerwelle auch ausserhalb der Werkstatt gut und bequem demontieren zu können, nützt ausserdem nicht viel, da doch keine Reserveteile dafür mitgeführt werden. Dagegen ist bei den anderen Steuerteilen, bei dem Gestänge und den Federn, leichteste Auswechselbarkeit auch auf der Fahrt sehr wichtig. Die Trennung der Steuerung in einen leicht auswechselbaren und einen nicht auswechselbaren Teil, die auf diese Weise zustande kommt, ist sehr zweckmässig. Ein weiterer Vorzug der achsial eingeschobenen Welle ist die Übersichtlichkeit des Zahneingriffs, die der bequemen Einstellung bei der Montage sehr zustatten kommt. Will man, was sehr oft geschieht, den Regulator in dem Antriebsrad unterbringen, so steht dem bei der Konstruktion ohne Schnittfuge nichts im Wege. Die grosse Öffnung vor dem Antriebsrad (siehe Fig. 63) macht den Regulator leicht zugänglich und erleichtert Einstellungen oder Auswechselungen. Der Deckel muss nur so beschaffen sein, dass er seitlich wegzunehmen ist, ohne dass erst andere Apparate oder Räder fortgenommen werden müssen. Der Hebelmechanismus, der vom Regulator nach den Drosselorganen führt, ist am besten in dem Verschlussdeckel unterzubringen und so einzurichten, dass er beim Entfernen des Deckels einfach ausgehakt werden kann.

Der Wert von Handöffnungen und Schaugläsern im Gehäuse ist nicht sehr hoch anzuschlagen, weil eine Nachstellung der Schubstangenlager doch kaum durch derartige Öffnungen möglich ist. Zum Kontrollieren des Ölstandes ist ein Probierhahn besser als alle Schaugläser.

Auf die Ölabdichtung an den Schnittfugen und an den Stellen, wo bewegliche Teile aus dem Gehäuse heraustreten, ist ganz besondere Aufmerksamkeit zu verwenden. Die Schnittebenen müssen so glatt wie möglich sein, mindestens sauber gefräst, besser aufgeschliffen. Alle Flanschen müssen breit ausgeführt werden, die Ent-

Digitized by Google

fernung der Schrauben darf nicht zu gross sein. Wenn auch der im Gehäuse stets auftretende Überdruck durch Entlüftungsrohre nach Möglichkeit ausgeglichen wird, so ist er doch immer gross genug, um das Öl namentlich aus den Lagern herauszupressen. Deshalb ist es erforderlich, Spritzringe an der Welle anzubringen, wie es bereits in Fig. 8 und 9 ange-

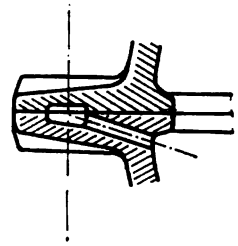


Fig. 64.

deutet ist. Eine umlaufende tiefe Nut, in der sich das austretende Öl sammeln kann und die mit Rücklauföffnungen versehen ist, wird, ähnlich wie bei den Ringschmierlagern, gegen das Heraustreten des Öles vielfach angewendet. (Vgl. Fig. 64.)

Die allgemeine Gestaltung des Gehäuses richtet sich im wesentlichen nach der Art der Aufhängung im Rahmen, z. T. auch nach den Rücksichten auf Schmierung. Um das Niveau des Ölbades im Kurbel-

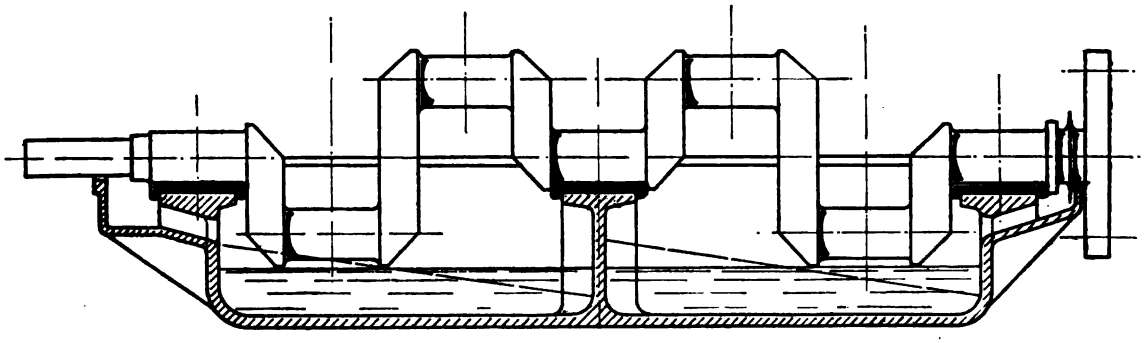


Fig. 65.

gehäuse möglichst konstant zu halten, auch beim Befahren von Steigungen, formte man oft das Gehäuseunterteil als Kugelschale so knapp als möglich um die Kurbelbahn herum. Neuerdings gewinnt wieder mehr und mehr die zylindrische Form des Kurbelgehäuses an Verbreitung, und zwar mit Recht, denn die Modelle werden bedeutend einfacher und die Lage des Ölspiegels auf Steigungen ist eher noch günstiger als in kugelförmigen Gehäusen. Vorteilhaft ist es aber, ein

Digitized by Google

längeres Gehäuse nach Art der Fig. 65 durch Scheidewände abzuteilen, um die äussersten Kurbeln nicht allzusehr vom Öl zu entblössen. Immerhin ist zu bedenken, dass von einem Ölspiegel im Kurbelgehäuse, wenn der Motor läuft, kaum die Rede sein kann, fast alles Öl ist zerstäubt. Es wird nicht schaden, den Ölraum unten gross zu machen, ein etwas grösserer Vorrat ist im Falle eines zufälligen Versagens der Tropfschmierung sehr wertvoll. Zur Ablagerung von schweren Teilen in dem Öl empfiehlt sich eine Rinne oder eine Ausbuchtung im Gehäuseunterteil.

Im übrigen sind die Rücksichten auf eine gute Übertragung der Kräfte, sowohl der inneren als auch der nach aussen gelangenden für die Ausbildung des Gehäuses massgebend. Die Vereinfachung, die

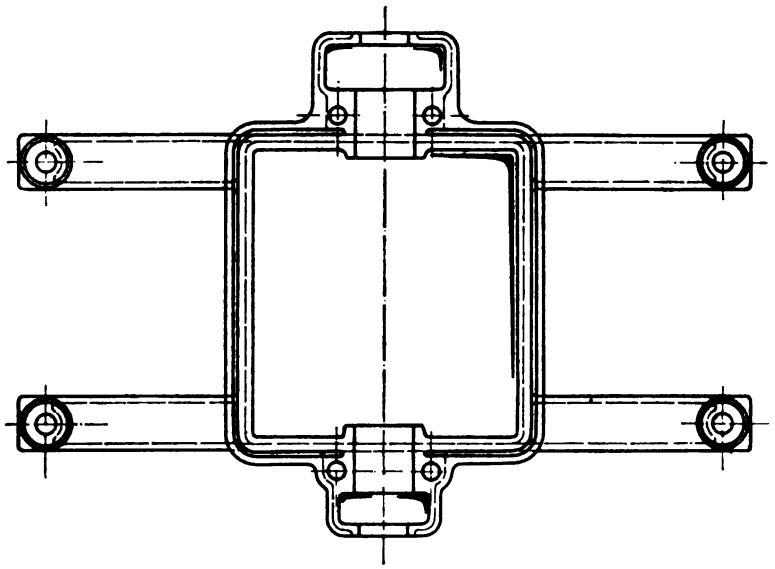


Fig. 66.

durch direkte Aufhängung des Motors an den Hauptträgern des Rahmens gegenüber dem früher fast allgemein angewandten Unterrahmen erreicht wird, ist von grossem Wert, da sie eine Verringerung der Montagekosten herbeiführt, aber es ist erforderlich, das Motorgehäuse jetzt besonders widerstandsfähig auszubilden, da es z. T. die Aufgabe der Querversteifung des Rahmens mit übernehmen muss. Es ist daher in jedem Falle notwendig, den tragenden Teil des Gehäuses sehr widerstandsfähig zu gestalten und, wenn irgend möglich, durchgehende Wände von einem bis zum anderen Auflagerpunkt aus-

Digitized by Google

zuführen. Die Form der Arme in der Seitenansicht wird ähnlich der in Fig. 60 gewählt werden müssen; im Grundriss dagegen sollen sich wenigstens zwei ganz durchgehende Wände vorfinden (vgl. Fig. 66), die zweckmässig in die Ebene der Hauptkurbellager zu legen sind. Das Rädergehäuse, das dann ausserhalb des einen Armpaares zu liegen kommt, trägt natürlich auch erheblich zur Versteifung des Ganzen bei. Bei der Aufhängung am Gehäuseoberteil ist die ganze Ausbildung sehr einfach, aber, wie erwähnt, nehmen die Arme mit ihrem grossen Volumen einen erheblichen Platz in Anspruch, sie

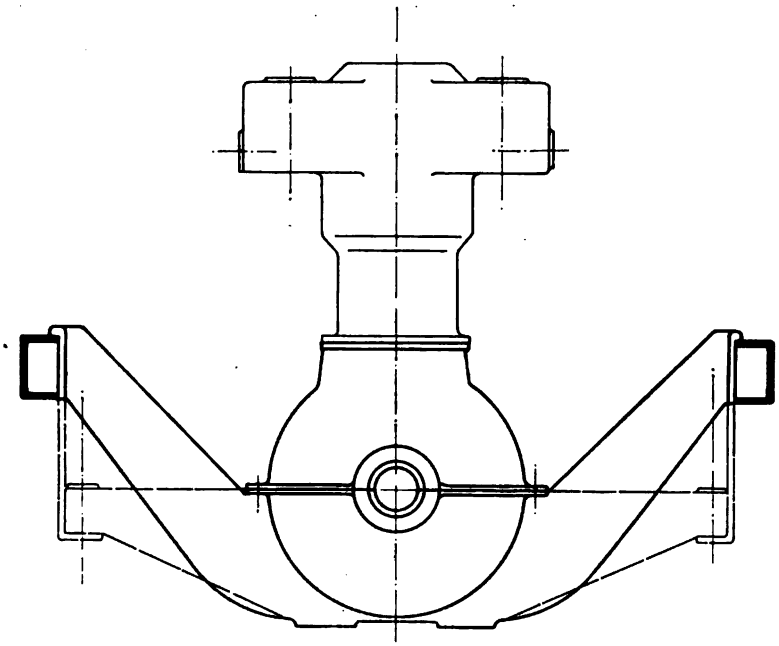


Fig. 67.

sind auch meist zu hoch, als dass man Hilfsapparate, wie den Magnetinduktor, noch auf sie setzen könnte. Die einzige Möglichkeit, sie weiter auszunutzen, besteht darin, die Räder in ihrem Innern zu lagern und sie so als Radgehäuse auszubilden. Derartige Konstruktionen sind ausgeführt worden und haben recht gute Anordnungen ergeben. Will man reichlichen Platz schaffen für die Nebenapparate, dann müssen die Arme am Gehäuseunterteil angebracht und mit steiler Steigung bis zum Befestigungspunkt hinaufgeführt werden. Das ergibt, wie Fig. 67 zeigt, nicht gerade einfache Armformen, ausserdem ist der Materialverbrauch ziemlich gross. An diesen Nachteilen ist die tiefe

Digitized by Google

Lage des Motors gegenüber dem Rahmen schuld. Um die Vorteile der Aufhängung am unteren Teile beizubehalten, empfiehlt es sich deshalb, vom Rahmen aus mit geeignet geformten Hängeeisen so weit nach unten zu gehen (in Fig. 67 gestrichelt), dass die obere Begrenzung der Motorarme wagerecht verlaufen kann. Dann ist genügend Platz vorhanden für die Aufstellung der Apparate direkt auf den Armen, und der Materialverbrauch ist bedeutend geringer.

Wenn die Arme in der angedeuteten Weise in der Ebene der Hauptkurbellager liegen, so ist meist die Entfernung der Auflagerpunkte von einander so gross, dass die freien Massenmomente genügend gut aufgefangen werden. Bei Vierzylindermaschinen ist zu berücksichtigen, dass die freien Massenkräfte das Gehäuse wie einen zweifach unterstützten Balken zu biegen suchen, der in der Mitte, hier

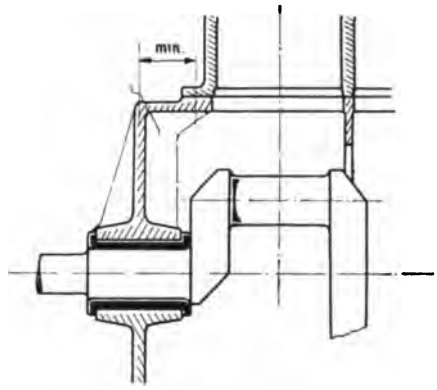


Fig. 68.

durch das Mittellager, von einer Kraft belastet wird. Auf genügende Festigkeit in der Längsrichtung muss also Rücksicht genommen werden durch entsprechende Ausbildung der seitlichen Gehäusewände, die infolge der Steuerwellenkapselung an sich schon für diesen Zweck geeignet sind. Eventuell sind im Innern noch Rippen vorzusehen, oder das Kurbelgehäuse selbst wird mehr kastenförmig als zylindrisch ausgebildet, sodass ein günstiger Querschnitt gegen die Biegungsbeanspruchung entsteht. Meist genügt jedoch schon die zylindrische Form des Gehäuseunterteiles zur Aufnahme der erwähnten Biegungskräfte, da die Wände ohne Unterbrechung durchlaufen. Mehr oder weniger wird sich der Querschnitt des ganzen Gehäuses dem Rechteck nähern, da an den geraden Wänden alle Befestigungen und Arbeitsflächen sehr bequem anzubringen sind, und die Steifigkeit im allgemeinen sehr gross wird. Nur muss man sich hüten, der oberen

Digitized by Google

Wandung allzuviel zuzumuten, da diese sehr grosse Öffnungen enthält und die volle Kolbenkraft nach den Lagern übertragen muss. Wenn diese Wand im ganzen eine Platte ist, die nur an den Rändern gehalten wird, dann können unter Umständen gefährliche Beanspruchungen auftreten. Womöglich sollte das in Fig. 68 angedeutete Mass recht klein gehalten werden, oder besser noch die Kräfte durch die Form der Wand und durch Rippen nach dem Lager übergeleitet werden. Die Frage der Beanspruchungen gewinnt bei den Gehäusen eine ganz besondere Bedeutung, da nur Gussmaterial zur Verfügung steht, das im allgemeinen recht wenig zur Aufnahme der

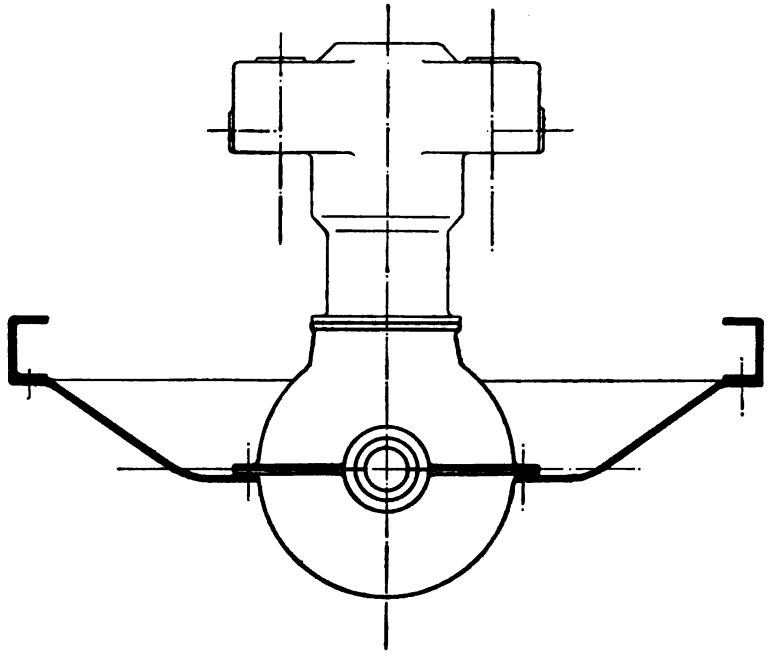


Fig. 69.

wechselnden Belastungen geeignet ist. Die Gefahr eines Bruches der verhältnismässig langen Arme ist gross, zumal eine rechnerische Verfolgung der durch die Fahrterschütterungen hervorgerufenen Stösse so gut wie unmöglich ist. Mehrere Fabriken sind dazu übergegangen, an Stelle einzelner Arme das ganze Gehäuse bis zu den Trägern zu verbreitern, so dass der ganze Zwischenraum zwischen den Rahmenträgern durch ein grosses Gussstück ausgefüllt wird. Es ergibt sich dann, wenn die zweite Form der Fig. 67 zugrunde gelegt wird, zu beiden Seiten des Motors in seiner ganzen Länge eine grosse

Digitized by Google

ebene Platte, die natürlich für die Aufstellung aller Apparate sehr vorteilhaft ist. Diese Konstruktion hat aber zugleich noch den weiteren Vorteil, dass nach unten hin ein beinahe vollständiger Abschluss entsteht, der allen Schmutz der Strasse von den oberen empfindlichen Teilen abhält. Die Anordnung bildet gewissermassen den Übergang zu den häufig angewendeten vollständig abgeschlossenen Blechrahmen, die dem genannten Zweck in vollkommenster Weise gerecht werden. Zuerst in Frankreich hat man den Rahmen von unten ganz mit einer gepressten Stahlplatte abgeschlossen, die einen für den Motor und das Getriebe passenden Ausschnitt hat, so dass also der Motor selbst mit einem ringsumlaufenden Flansch auf dieser Stahlplatte ruht. In Fig. 69 ist ein Querschnitt durch diese Ausführung angegeben. Sie vereinigt noch mehr alle Vorzüge, als die vorhergehende Konstruktion, nur hat sie den Nachteil, dass sie bei grösseren Motoren verhältnismässig schwer wird, wenn man sie genügend steif ausführen will. Der Abschluss von unten ist insofern nicht ganz vollkommen, als immer noch Schraubenköpfe, Entleerungsrohre usw. sich unter dem Blech befinden müssen, die also noch dem Strassenschmutz ausgesetzt sind. Im Interesse einer sicheren Aufstellung der Maschine und des vollständigen Schutzes dürfte es vielleich doch vorzuziehen sein, die Motoren für sich mit kräftigen Tragkonstruktionen aufzustellen und den Rahmen von unten durch ein vollständig geschlossenes Blech zu umkleiden, das alle Teile umschliesst und selbst durchaus glatt ist, so dass es sich leicht reinigen lässt. Auf leichte Abnehmbarkeit braucht unter Umständen kein zu grosser Wert gelegt zu werden, vorausgesetzt, dass die Aufstellung aller Hilfsapparate in einwandfreier Weise von oben erfolgt und dass namentlich alle Schrauben von oben noch erreicht werden können. Das Blech kann event. aus leichtem Metall, Aluminium, hergestellt werden, so dass sein Gewicht kaum in Frage kommt. Alle Stahlblechkonstruktionen, — man hat sogar schon ganze Rahmen mit den Seitenträgern aus einem Stück gepresst,—werden verhältnismässig schwer, da das Blech überall von derselben Stärke sein muss, während das Gewicht der Maschine dies nur an den eigentlichen Tragestellen erfordert.

Blockkonstruktionen.

So einfach das Bild eines Fahrzeuges wird, in dem die einzelnen Teile in der angegebenen Art untergebracht sind, so ist doch vor allen Dingen die eine Forderung unerfüllt, dass die Maschine frei von Klemmungen und Verbiegungen bleibt, die der Rahmen unter dem

Digitized by Google

Einfluss der Nutzlast und der Unebenheiten des Weges erleidet. Die Maschine selbst muss zur Versteifung des Ganzen erheblich mit beitragen, d. h. es kommen unkontrolierbare dynamische Beanspruchungen in die Gehäuseteile hinein. Selbst, wenn durch besonders kräftige Hauptrahmen, aus Stahlblech von geeignetem und den Beanspruchungen angepasstem Profil eine grosse Steifigkeit des Rahmens in der Längsrichtung erzielt wird, so bleibt doch die Starrheit gegenüber einseitigen Unebenheiten des Bodens stets mangelhaft, die Eckverbindungen des Rahmens können trotz Winkellaschen und Eckblechen nie so steif gemacht werden, dass ein Windschiefwerden des Rahmens ganz ausgeschlossen ist. Bei grösseren Wagen, namentlich Lastwagen, erleidet er bereits unter dem Einfluss der Nutzlast ganz erhebliche Durchbiegungen, die während der Fahrt infolge der Eigenschwingungen und besonders der Unebenheiten der Strasse noch stark zunehmen.

Jedes Verziehen des Gehäuses bedeutet eine Klemmung der Welle und eine fortdauernd wechselnde Beanspruchung des Gehäusematerials. Zwei verschiedene Methoden werden zur Beseitigung dieses Übelstandes angewendet: erstens die Verbindung der Maschinengruppen durch gelenkige Wellen und zweitens die Blockkonstruktionen. Der für grosse Wagen meistens gewählte Weg, die gelenkige Verbindung aller Hauptteile des Mechanismus, hilft dem oben erwähnten Übelstande allerdings ab, aber es können sich dabei innerhalb eines Gehäuses schon grössere Deformationen herausbilden, die auf die Dauer von dem Gussmaterial nicht ertragen werden. In dieser Beziehung ist die Aufhängung des Motors, der Getriebe u. s. w. direkt auf den Trägern des Hauptrahmens durchaus nicht günstig, die Gehäuse haben dann die volle Grösse der relativen Bewegungen des Rahmens aufzunehmen. Die ältere Methode, die Maschinenanlage auf einem Hilfsrahmen aufzustellen, der sich zwischen dem Hauptrahmen befand und nur an 3 bis 4 Punkten an ihm befestigt wurde, war in dieser Beziehung entschieden besser, denn erstens stand dieser Rahmen nicht so sehr unter dem Einfluss der wechselnden Nutzlasten, zweitens konnten in ihm wegen seiner geringeren Abmessungen nicht so grosse Verbiegungen auftreten. Im Interesse eines einfachen Rahmenbaues ist diese Konstruktion wieder aufgegeben worden, und man hat den ungünstigen Einfluss der direkten Aufhängung durch eine grössere Steifigkeit des Hauptrahmens auszugleichen versucht.

Verschiedene Firmen haben nun, um den Motor und die anderen maschinellen Einrichtungen ganz unabhängig von den Rahmenverbiegungen aufzustellen, den Versuch gemacht, die wichtigsten Teile

Digitized by Google

derart zu vereinigen, dass sie als starres Ganzes für sich arbeiten, unbeeinflusst von allen äusserlichen Einwirkungen. Damit ist zwischen ihnen und dem Radantrieb nur eine einzige Gelenkwellenverbindung notwendig, der Motor mit allen Nebenapparaten, die Kuppelung und das Wechselgetriebe bilden einen Block.

Die grossen Schwierigkeiten, die bei der Blockkonstruktion hinsichtlich der Zugänglichkeit entstehen, sind der Grund, weshalb so verhältnismässig wenig gute derartige Konstruktionen vorliegen. Besonders betrifft dies die Kuppelung, deren Lage zwischen Motor und Getriebe ja gegeben ist, und die eine gute Zugänglichkeit erfordert. Die am meisten verbreitete Ausführung, Metallkonus mit Lederarmierung lässt nicht zu, dass sie sich in einem gemeinschaftlichen Gehäuse mit dem Getriebe befindet, da sie kein Öl verträgt. Es müsste also, wenn man den ganzen Block in ein gemeinschaftliches Gehäuse einschliessen will, der mittlere Teil, in dem sich die Kuppelung befindet, ölfrei gehalten werden, während zu beiden Seiten — im Motor und im Getriebe — reichliche Schmierung notwendig ist. Abhilfe kann hier nur die Verwendung einer metallischen Kuppelung bringen, die im Ölbad läuft.

Dann kann Motor, Kuppelung und Getriebe in ein gemeinsames Gehäuse eingeschlossen werden, das leicht genügend tragfähig ausgebildet werden kann und eine Aufhängung des ganzen Blockes an drei Punkten möglich macht. Werden diese Aufhängepunkte noch gelenkig ausgeführt, so ist auch der schädliche Einfluss etwaiger Einspannungsmomente, die durch die Befestigung entstehen könnten, vermieden und die ganze Maschine bleibt dauernd unbeeinflusst von den Deformationen des Rahmens. Weder die Nutzlast noch irgend eine andere äussere Kraft, die auf den Rahmen wirkt, sind dann imstande, eine Klemmung in den Maschinenteilen hervorzubringen, der Block kann im ganzen jeder Senkung der einzelnen Stützen folgen, ohne schädlichen Einfluss auf die Teile im Innern.

An den Block werden zweckmässig einige kleinere Apparate anzuschliessen sein: eine Bremse auf der Getriebewelle, die Pedale für diese Bremse und für die Kuppelung und der Umschaltmechanismus für das Getriebe. Ob es zweckmässig ist, auch die Steuersäule und den gesamten Lenkmechanismus an den Block anzuschliessen, bedarf einer besonderen Untersuchung im einzelnen Falle. Die Lenkung, vom Standpunkte der Sicherheit das wichtigste Organ des ganzen Wagens muss in jeder Hinsicht einwandsfrei befestigt werden, sie sollte deshalb möglichst ohne Zwischenglieder unmittelbar mit dem Rahmen verschraubt werden. Die

Digitized by Google

Entscheidung hängt hierbei sehr von der Gesamtdisposition des Wagens ab. Wenn die Steuersäule, wie bei den meisten Personenfahrzeugen, sehr schräg gelegt wird, dann ist ihr Fuss mit dem Lenkmechanismus ungefähr in der Mitte des Motors anzunehmen, also ziemlich weit von einem Aufhängungsarm und auch von dem erweiterten Teil des Gehäuses, in dem das Schwungrad laufen würde. Seitlich liegt die Steuersäule meist mehr am Rahmen als an der Maschine, da dieser vorn der Lenkfähigkeit wegen nur schmal sein darf, sie wird also leichter am Rahmen zu befestigen sein als an dem Maschinenblock.

Ein weiterer Vorteil der Blockkonstruktion verdient noch Erwähnung, das ist die Möglichkeit, in verhältnismässig einfacher Weise eine Federung der ganzen Maschinenanlage auf dem Fahrzeugrahmen vorzunehmen. Bei allen Fahrzeugen mit einer wenig elastischen Bereifung, also hauptsächlich bei Lastfahrzeugen, spielt dieser Punkt eine wichtige Rolle, auf die Haltbarkeit aller empfindlicheren Teile der Maschine, besonders der Lagerungen würde die Federung einen sehr günstigen Einfluss ausüben. Steuersäule und Kühlapparat wären dann natürlich am besten direkt am Rahmen zu befestigen. Der Motor selbst mit Kuppelung und Getriebe, Bremse und Pedal, würde an den 3 Auflagepunkten mit Federn zu stützen sein, die, wenn auch mit geringem Spielraum, doch wenigstens die heftigsten Stösse von den Maschinenteilen fernhalten würden. Die Pedale allerdings würden kleine Relativbewegungen gegenüber dem Führersitz und dem Führer ausführen, doch hat dies nur geringe Bedeutung, da die Grösse der Bewegungen sehr gering gehalten werden kann.

Die Ausbildung des Motorgehäuses im Sinne einer Blockkonstruktion richtet sich danach, welche Teile vereinigt werden können und an welchen Teilen die Lagerung des Ganzen stattfinden kann. Alle Achsantriebe mit Kardanwellen gestatten ohne weiteres, das Getriebe an den Motor unmittelbar anzuschliessen, der Kettenantrieb dagegen bedingt, dass das Getriebe in der Nähe der angetriebenen Achse sitzt, wenn die Kegelradübersetzung und das Differential mit dem Wechselgetriebe in einem Gehäuse vereinigt werden sollen. Dies gilt insbesondere für die leichteren Personenfahrzeuge, die einen kurzen Radstand haben, sodass nur verhältnismässig wenig Platz in der Längrichtung zur Verfügung steht. Bei längeren Fahrzeugen, z. B. bei Lastwagen, ist es vorzuziehen, die Kegelradübersetzung mit dem Differential getrennt in einem besonderen Gehäuse unterzubringen, das nahe der Triebachse sitzt, während das Getriebe mit dem Motor vereinigt und eventuell abgefedert wird.

Digitized by Google

Auch die Umschaltvorrichtung wird dadurch einfacher, die häufig unbequem langen Zugstangen fallen ganz fort. Eine Gelenkverbindung in der Welle ist in beiden Fällen notwendig, da die Deformationen des Rahmens auf der grossen Länge stark fühlbar werden.

Die Blockkonstruktionen werden also in der Regel darauf hinauslaufen, dass Motor, Kuppelung, Getriebe, Bremse und Pedale zum mindesten vereinigt sind, die Grundform wird daher stets der in Figur 70 dargestellten nahe kommen. Als Getriebe ist hier ein für Lastwagen häufig verwendetes angenommen, mit abwechselnd einschaltbaren Zahnradpaaren zwischen den beiden parallelen Wellen.

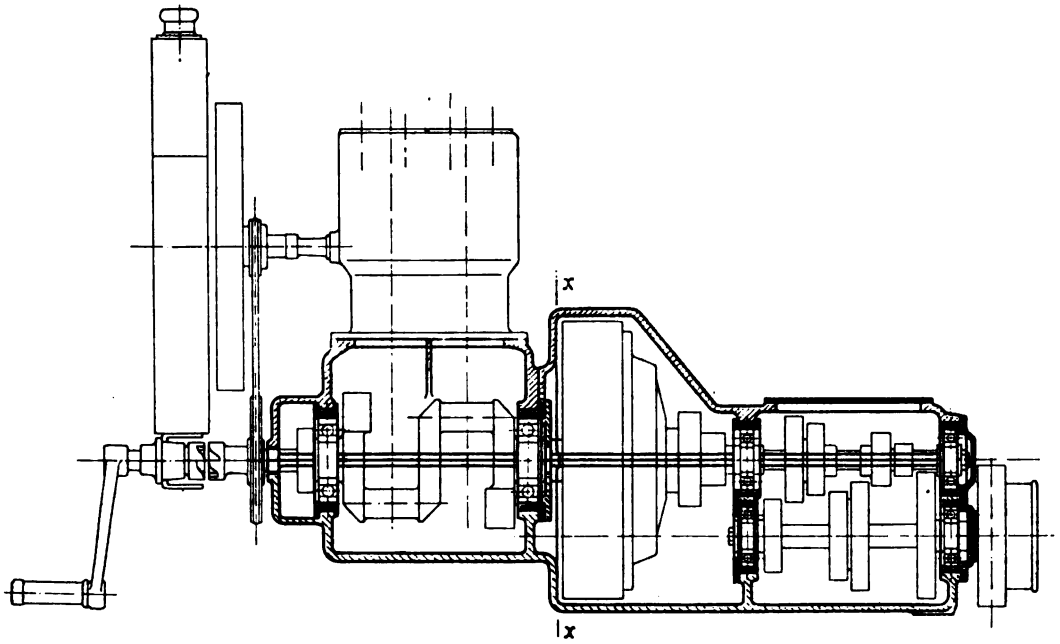


Fig. 70.

Der Rücklauf ist nicht besonders angedeutet. Die getriebene Welle, an die sich die Gelenkwelle nach dem Differential anschliessen würde, liegt hier unterhalb der Hauptwelle, damit diese und infolge dessen auch der Motor möglichst wenig zwischen den Rahmenlängsträgern versteckt liegen.

Der Horizontalschnitt durch das Motorkurbelgehäuse, muss natürlich durch das Getriebe weitergeführt werden. Es ist fraglich, ob es zweckmässig ist, das ganze Gehäuseunterteil für Motor und Getriebe aus einem Stück zu giessen. Es empfiehlt sich mit Rücksicht auf den Preis, denn jeder weitere Schnitt kostet entsprechende Be-

Digitized by Google

arbeitung. Indessen sind doch verschiedene Gründe vorhanden, eine Teilung an der Stelle x—x vorzunehmen. Bei der in Fig. 70 dargestellten Anordnung muss die untere Getriebewelle so ausgebildet werden, dass sie achsial in das Getriebegehäuse eingeschoben werden kann. Meist liegt nun die Mitte dieser Welle so, dass die Bohrspindel gerade auf die untere Begrenzung des Motorgehäuses treffen würde, sodass man also gezwungen wäre, wegen der Bohrspindel einen besonderen Kanal mit besonderer Öffnung zu giessen. Um dies zu vermeiden, ist die eine durchgehende Teilfuge in der Ebene x—x zu

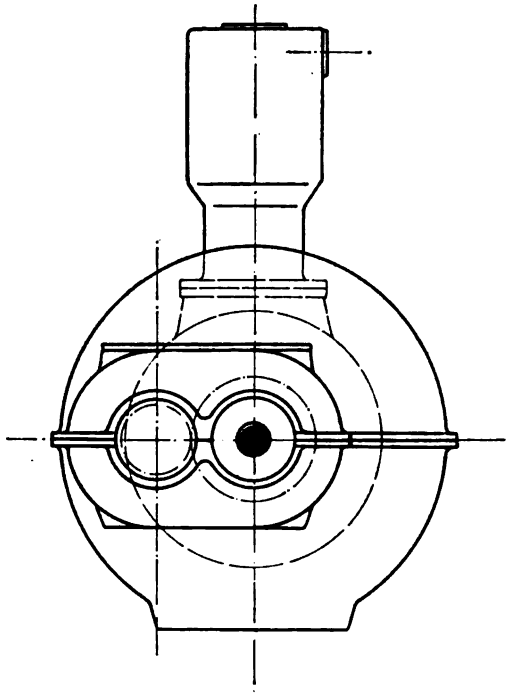


Fig. 71.

empfehlen, zumal der obere Deckel auf alle Fälle aus zwei Teilen hergestellt werden muss, da sowohl bei der Montage als auch im Betrieb die bequeme Kontrolle der Kuppelung und des Getriebeinnern jederzeit möglich sein muss. Die beiden Teile können in der Ebene xx stumpf aneinander stossen, eine Zentrierung zwischen ihnen wird nicht nötig, nur ein recht breiter Flansch, damit keine Ölverluste stattfinden.

Wird ein Getriebe verwendet, bei dem die Hauptwelle nach dem Differential weiterführt und die zweite Welle nur als Vorgelege

Digitized by Google

benutzt wird, so dürfte es zweckmässig sein, diese mit in die wagerechte Teilebene zu legen, da dann die Montage erheblich erleichtert wird. Man würde also die Anordnung Figur 71 bekommen, bei der hinsichtlich der Bohrspindel dasselbe gilt wie bei der vorigen Anordnung. Auch hier ist demnach ein Vertikalschnitt zu empfehlen.

Die meisten Schwierigkeiten bereitet bei den Blockkonstruktionen die Lagerung auf dem Rahmen. Von der richtigen Wahl der drei Unterstützungspunkte ist der Erfolg der ganzen Konstruktion abhängig. In erster Linie muss die Reaktion des Drehmomentes gut aufgenommen werden, dann aber soll das Ganze auch möglichst stabil ruhen, es sollen keine schweren Teile überhängen. Man wird zunächst suchen, die Stellen des Gehäuses zur Unterstützung heranzuziehen, die bereits infolge ihrer Form dem Rahmen nahe liegen, also die

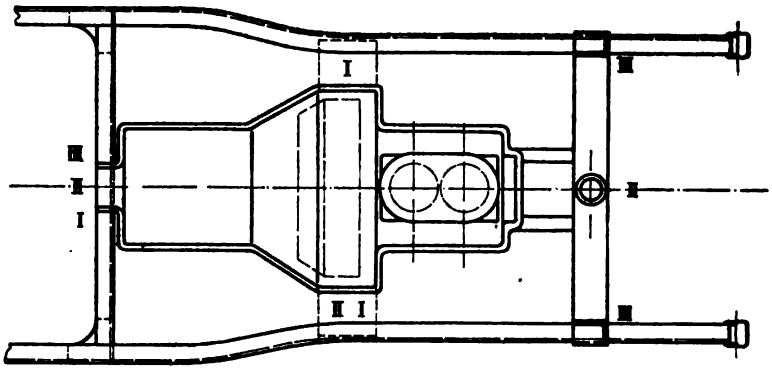


Fig. 72.

Gehäuseteile in der Nähe des Schwungrades und an beiden Enden, vorn am Kühler und hinten am Getriebe, die auf Querstreben des Rahmens aufzustützen wären (vergl. Figur 72). Von diesen Punkten sind die in der Nähe des Schwungrades aber gerade die ungeeignetsten, da sie sich in der Mitte des ganzen Blocks befinden; würde man zwei Arme rechts und links vom Schwungrade ausbilden (Unterstützung I) und als dritte Unterstützung die vorn oder hinten nehmen, dann würde stets ein grösserer Teil der Konstruktion überhängen. Die mit II bezeichnete Aufstellung, also Unterstützung vorn und hinten und durch einen seitlichen Arm, ergiebt unter Umständen eine ganz zweckmässige Anordnung. Der seitliche Arm würde allerdings kaum zur Unterstützung des Systems dienen, sondern nur zur Aufnahme der Reaktion gegen das Drehmoment; das Gewicht würden die beiden

Digitized by Google

anderen Unterstützungen ganz allein aufzunehmen haben. Beide Aufhängearten schliessen den Kühler, der vor dem Motor quer auf dem Rahmen steht, von der Vereinigung aus. Soll er mit in das System eingeschlossen werden, dann würde sich die Unterstützung des ganzen Blocks an den mit III bezeichneten Stellen ergeben. Diese Aufstellung verlangt eine besonders starre Verbindung vorn zwischen Motor und Kühler, sie ist jedoch im allgemeinen der zweiten gleichwertig, wenn nicht überlegen. Alle drei Aufstellungsarten würden sich leicht für eine federnde Aufhängung einrichten lassen, sowohl Spiral- als auch Blattfedern können leicht untergebracht werden.

Der Block ergiebt nun eine äusserst einfache Montage, er kann vollständig fertig, auf den Rahmen gesetzt werden und andererseits kann auch die ganze Maschine auf dem Fahrzeug nacheinander demontiert werden. Eine grosse Schwierigkeit ergiebt sich aber aus der grossen Länge des ganzen Systems. Die Gussmaterialien sind für derartige Tragkonstruktionen wenig geeignet. Schon bei Besprechung der gewöhnlichen Aufhängung war auf die Notwendigkeit einer sehr kräftigen Ausbildung der Tragarme hingewiesen, die von ganz besonderer Wichtigkeit ist, wenn man das spezifisch leichte Aluminium oder seine Legierung mit Nickel verwendet. Dieses Material besitzt nur eine sehr geringe Arbeitsfähigkeit, es erträgt dauernd wechselnde Beanspruchungen, namentlich die fortwährenden Erschütterungen im Fahrzeugbetriebe nur sehr mangelhaft. Andererseits wird man aber nicht gern auf den Vorteil des geringen Gewichts verzichten. Auch das Gusseisen, das in Bezug auf Biegung sich ganz ähnlich verhält, wird man für bestimmte Verwendungszwecke infolge seines billigen Preises nicht gern missen. In derartigen Fällen, wo die Festigkeit des Materials nicht ausreicht, ist es am besten, die beiden Funktionen des Einhüllens und Tragens zu trennen und durch geeignete Armierung die fehlenden Eigenschaften des Hüllmaterials zu ersetzen. Das Gussmaterial wird dann lediglich zur Kapselung verwendet, während die Festigkeit einem System von Verbindungen aus Stahl übertragen wird.

Mit verhältnismässig einfachen Mitteln lassen sich betriebssichere, leichte und billige Konstruktionen schaffen, die allen gestellten Anforderungen entsprechen.

Als geeignetes Material für diese Zwecke erscheint das Stahlblech, das sich bei der hochentwickelten modernen Presstechnik in beinahe beliebige Formen bringen lässt. Eine Stahlblechhaut, die sich an den Auflagestellen in steife Tragarme formt, mit durchgehenden Bolzen fest mit dem ganzen Gehäuse verschraubt, ergiebt eine sehr

Digitized by Google

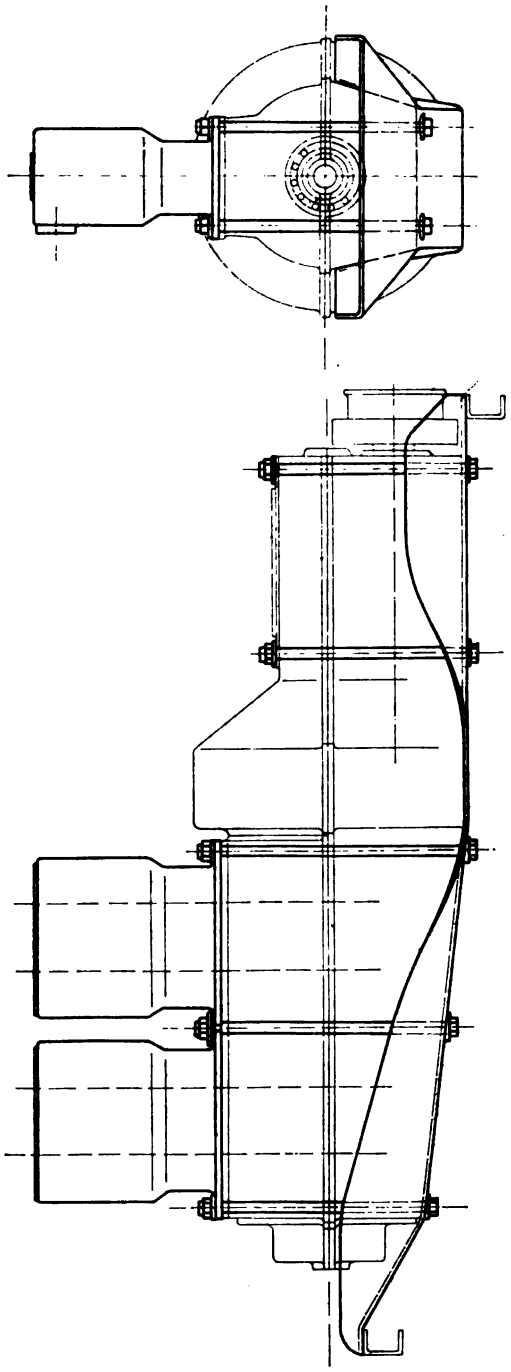


Fig. 73.

Digitized by Google

leichte und zugleich billige Konstruktion, die gleichzeitig die grösste Betriebssicherheit bietet. (Fig. 73.)

Mit Hilfe des Blechunterzuges ist es ein leichtes, den Kühlapparat mit in die Blockkonstruktion aufzunehmen. Man wird in diesem Falle die vordere Querverbindung des Rahmens mit dem Blech vereinigen, indem man dieses möglichst breit durchlaufen lässt und mit dem Querträger vernietet. Es ergiebt sich dann eine Form dieser Eisenkonstruktion, die etwa der Figur 74 entspricht. Der vordere

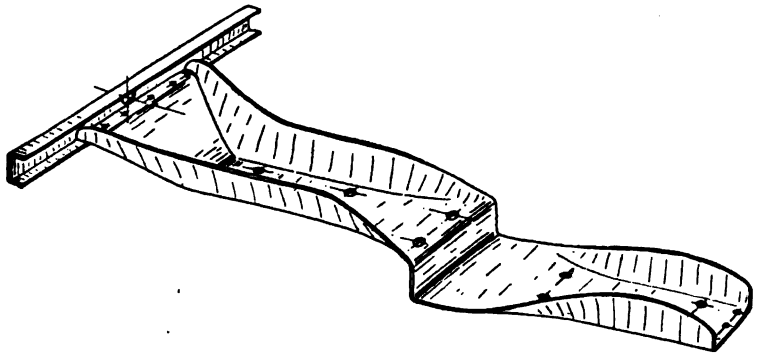


Fig. 74.

Querträger kann natürlich auch aus einem Stück mit dem Blech hergestellt werden, wenn man die Kosten hierfür nicht scheut.

Für eine Massenfabrikation wird sich die Armierung mit Stahlblech nicht teuer stellen, denn durch den Wegfall der starken Tragarme wird eine ganz bedeutende Ersparnis an Gehäusematerial erzielt, die noch vergrössert wird durch die Möglichkeit der Verminderung der Wandstärken, da jetzt keine Tragfähigkeit von den Wänden mehr gefordert wird. In Bezug auf die Forderung reichlichen Platzes für die Hilfsapparate ist die Konstruktion mit Blecharmatur ausserordentlich günstig, denn beide Seiten des Motors sind jetzt vollständig frei, Rohre, Vergaser, Zündapparate, Pumpe u. s. w. können fast ganz nach Belieben verteilt werden.

Digitized by Google

Die freien Massenkräfte und Momente der Automobil-Motoren in graphischer Darstellung.

Als die Hauptursache der störenden Erschütterungen der Automobilfahrzeuge verdienen die Massenwirkungen des Motors weitgehende Beachtung. Die Resonanz mit den Eigenschwingungen des Rahmens veranlasst unter Umständen sehr erhebliche Schwingungen und Deformationen, trotz relativ kleiner Ursachen, sodass Brüche und Zerstörungen der Verbindungen am Rahmen und an der Maschinerie, die nicht seltene Folge sind. Die genaue Kenntnis und vor allen Dingen eine unmittelbare Anschauung der Vorgänge sind daher für den Konstrukteur von grosser Wichtigkeit. Die meisten Besprechungen dieser Erscheinungen begnügen sich mit einer Aufzählung der bekannten Formeln. Selten ist eine andere Kurve als die der Beschleunigung als Funktion des Kolbenweges gegeben, namentlich der Ausgleich mehrzylindriger Maschinen wird fast immer rein analytisch behandelt.

Zur Veranschaulichung und zum Vergleich der verschiedenen Motorarten hinsichtlich der Güte des Massenausgleichs wurde im Folgenden soweit wie möglich, graphisch vorgegangen. Um die Darstellung zunächst nicht allzusehr zu komplizieren, wurde die übliche Annahme gemacht, dass die Kurbelgeschwindigkeit konstant sei, desgleichen auch die Vereinfachung beibehalten, dass nur schwingende und rotierende Massen von Einfluss sind. Inwieweit die erste Annahme gerade hier berechtigt ist, ist nicht leicht zu entscheiden. Die zweite Vereinfachung, die Verteilung des Gewichtes der Pleuelstangen zur Hälfte auf die rotierenden, zur Hälfte auf die rein schwingenden Massen des Kolbens (vergleiche Mollier, Z. d. V. d. I. 1903, S. 1638), dürfte zu keinen grossen Abweichungen von der Wirklichkeit Veranlassung geben. Die Schubstangen der Automobilmotoren sind derartig leichte Organe, dass von ihnen nie grosse Massenwirkungen ausgehen können. Die Annahme konstanter Kurbelgeschwindigkeit

Digitized by Google

ist dagegen bedenklicher, vor allen Dingen bei Motoren mit ungleichförmigem Drehmoment, also hauptsächlich bei Ein- und Zweizylindermotoren. Diese weisen namentlich bei Leerlauf und niedrigen Tourenzahlen oft sehr starke Schwankungen in der Umfangsgeschwindigkeit auf, so dass schon die Reaktionen des variablen Drehmomentes (Kreuzkopfdruck) stärkere Erschütterungen hervorbringen können als die Massenkräfte. Bei hoher Tourenzahl, namentlich aber unter Belastung, wenn der Wagen läuft, tritt diese Erscheinung zurück. Alsdann übernimmt das Fahrzeug selbst die Rolle einer Schwungmasse, der Gleichförmigkeitsgrad steigt ganz erheblich und die Annahme konstanter Kurbelgeschwindigkeit gewinnt an Berechtigung. Inwieweit die Elastizität der Übertragungsmechanismen sowie das unvermeidliche Spiel zwischen einzelnen Übertragungsorganen dieser Erscheinung entgegen wirkt, ist noch nicht untersucht worden, dies dürfte auch allgemein ziemlich schwierig sein. Zunächst soll jedenfalls die Annahme der konstanten Kurbelgeschwindigkeit beibehalten werden, da sie im normalen Betriebe ziemlich verwirklicht sein dürfte.

Die zu betrachtenden Motorarten sind die bekannten, bereits mit Rücksicht auf möglichst guten Massenausgleich gewählten Typen, jedoch nur die stehenden Bauarten. Es kommen in Frage:

Der Einzylindermotor;

Der Zweizylindermotor mit um 180° versetzten Kurbeln;

Der Dreizylindermotor mit um 120° versetzten Kurbeln;

Der Vierzylindermotor als symmetrische Verdopplung des Zweizylinders;

Der Sechszylindermotor als symmetrische Verdoppelung des Dreizylinders.

Die Begründung der einzelnen Kurbelstellungen ergiebt sich bei der weiteren Betrachtung.

Bei allen Motorarten treten an jedem einzelnen Zylinder folgende Kräfte auf:

1) Die Massenkräfte der schwingenden Gewichte, also des Kolbens und ca. der Hälfte der Schubstange, zwischen Null und gewissen Maximalwerten schwankend, immer in derselben Linie wirkend.

2) Die Zentrifugalkräfte der nur rotierenden Gewichte, also des Kurbelzapfens, der Kurbelarme und der unteren Hälfte der Schubstange; sie sind von konstanter Grösse, ihre Richtung ändert sich mit dem Kurbelwinkel.

Digitized by Google

3) Die Zentrifugalkräfte angebrachter Gegengewichte, ebenfalls von konstanter Grösse und stets in der Richtung des durch den Schwerpunkt des Gegengewichtes gezogenen Radius wirkend.

Da alle diese Kräfte bei den mehrzylindrigen Maschinen in verschiedenen Ebenen liegen, so sind in Bezug auf den ganzen Motor noch die Momente zu berücksichtigen, die aus den Kräften und aus den Abständen der Zylindermitten folgen. Als Drehpunkt für diese Momente kann ein beliebiger Punkt in der Achse der Kurbelwelle gewählt werden; in den folgenden Darstellungen ist immer die Mitte des Motors gewählt, sodass gleichgerichtete Kräfte auf verschiedenen Seiten der Mitte entgegengesetzte Momente ergeben. Die Momente sind von allen auftretenden Kräften zu bilden, also sind zu untersuchen:

4) Die Momente der schwingenden Massen.

5) Die Momente der Zentrifugalkräfte der rotierenden Gewichte.

6) Die Momente der Zentrifugalkräfte der Gegengewichte.

Diese sechs Grössen sind bei der Beurteilung des ganzen Motors zu berücksichtigen. Sie stellen ein räumliches System dar, da die Ebenen der Zentrifugalkräfte senkrecht zu der Ebene der Zylindermitten stehen. Für die Summation der Kräfte und Momente sind natürlich alle an dem Schwerpunkt des ganzen Körpers angreifend zu denken. Es ist also dort der Verlauf von sechs Variabeln pro Zylinder zu untersuchen, die sich mit der Zeit nach Grösse und Richtung ändern. Die graphische Darstellung kann zunächst, solange sie in der Zeichenebene bleibt, nur zwei variable Grössen in Betracht ziehen. Es kann sich also die graphische Untersuchung nur auf die Abhängigkeit zweier Variabeln von einander erstrecken, während die dritte konstant bleibt. Der in solchem Falle übliche Weg ist die Zerlegung der Variablen; man betrachtet den Verlauf der Kräfte in einer bestimmten Richtung, und sodann getrennt davon in der dazu senkrechten Richtung. Die Wahl dieser beiden Richtungen wird danach zu treffen sein, ob Kräfte von einer ausgesprochenen Richtung mit zu berücksichtigen sind. Im vorliegenden Falle haben nun die schwingenden Massenkräfte überhaupt nur vertikale Richtung, es wird also zweckmässig sein, den Verlauf der Kräfte in dieser Richtung und der dazu senkrechten zu verfolgen und die Untersuchung vorzunehmen: 1) der vertikalen Komponenten, 2) der horizontalen Komponenten, beide als Funktionen der Zeit. Mit dieser Darstellung geht leider die unmittelbare Anschauung des wirklichen Verlaufes verloren. Um sich für jeden Punkt des Kurbelkreises die Lage der Resultierenden zu vergegenwärtigen, ist stets erst eine geometrische Addition der beiden

Digitized by Google

Komponenten nötig. Diese für jeden Punkt neu auszuführende Operation erschwert die Übersicht über das Resultat.

Mit einer perspektivischen Drei-Koordinatendarstellung würde zwar die volle Anschaulichkeit gewahrt, indess ist die wirkliche Grösse und Richtung der Resultierenden auch erst mit Hilfe besonderer Überlegungen zu finden.

Um die Anschaulichkeit möglichst zu wahren und trotzdem Grösse und Richtung des Resultates jederzeit sofort ablesen zu können, ist im folgenden von einer anderen Darstellungsweise Gebrauch gemacht: den Polarkoordinaten. Von einem Punkt aus werden die Kräfte nacheinander nach Grösse und Richtung aufgetragen, das Polardiagramm ergiebt dann eine unmittelbare Anschauung vom Verlauf der Resultierenden, allerdings ohne Berücksichtigung der Zeit. Um noch die Abhängigkeit von dieser Variabeln anzudeuten, ist es nötig, zu besonderen Hilfsmitteln zu greifen. Grösse und Richtung der Resultierenden erscheint als ein Fahrstrahl, dessen Spitze auf der Polarkurve hingleitet, aber nicht gleichmässig schnell, sondern mit wechselnder Geschwindigkeit, wenn man gleiche Zeitabschnitte, also gleiche Kurbelwinkel betrachtet. Die in der Zeiteinheit zurückgelegten Wege sind verschieden, es liegt somit nahe, sie als einen Massstab für die Winkelgeschwindigkeit des Fahrstrahles zu betrachten. Durch Einteilung der Polarkurve in Abschnitte, die der Fahrstrahl in gleichen Zeiträumen zurücklegt, erhält das Auge einen Eindruck von der Geschwindigkeit, mit der er läuft, also ein Bild von dem Verlauf der dritten Variabeln. Eine Häufung der Zeitmarken, — kleiner Kreise oder Querstriche — auf der Kurve deutet demnach an, dass hier die Geschwindigkeit des Fahrstrahles und damit auch die Veränderung der Richtung der Resultierenden in der Zeiteinheit gering ist. Auf diese Weise ergiebt sich eine anschauliche Darstellung des gesamten Vorgangs, ohne dass die Möglichkeit der schnellen Messung verloren geht.

Die angreifenden Kräfte und Momente sind getrennt zu untersuchen, das Resultat muss stets eine Kraft und ein Moment sein. Die Darstellung der Momente kann ganz analog jener der Kräfte erfolgen, denn die Momente haben alle einen unveränderlichen Zylinderabstand als Hebelarm, ihre Grösse ändert sich nur proportional den zugehörigen Kräften. Die Kraftkurve kann somit unter einem andern Masstab als Momentenkurve aufgefasst werden, vorausgesetzt, dass der Sinn der Momente sich nicht durch einen Vorzeichenwechsel des Hebelarmes ändert. Die Momente würden also auch in Polarkoordinaten darzu-

Digitized by Google

stellen sein, nur darf nicht vergessen werden, dass die Ebene der Figur um 90° gedreht ist.

Das Kräftediagramm in Polarkoordinaten würde für die schwingenden Massen nur eine gerade Linie ergeben, es ist deshalb, da es sich zunächst um den Ausgleich dieser vertikalen Kräfte handelt, die Darstellung in rechtwinkligen Koordinaten beibehalten worden, aber nur für die vertikalen Kräfte und Momente. In den Kräftediagrammen sind die rotierenden Massen, die meist infolge ihrer Lage zu einander keine freien Kräfte ergeben, nicht mit berücksichtigt worden. Auch in den Momentendiagrammen wäre es nicht notwendig gewesen, die Momente der rotierenden Massen besonders einzutragen, da man sie meist durch Anbringung anderer rotierender Massen ausgleichen wird, doch sind sie in Rücksicht auf die Untersuchung jedes einzelnen Einflusses mit behandelt worden.

Grösse der Massenkräfte.

Die freien Massenkräfte im Kurbelmechanismus sind genügend genau ausgedrückt durch die Formel

$$B = \frac{Mv^2}{r}(\cos\alpha \pm \lambda \cdot \cos 2\alpha)$$

mit den Maximalwerten $\max B = \frac{Mv^2}{r}(1 \pm \lambda)$ in den Totlagen.

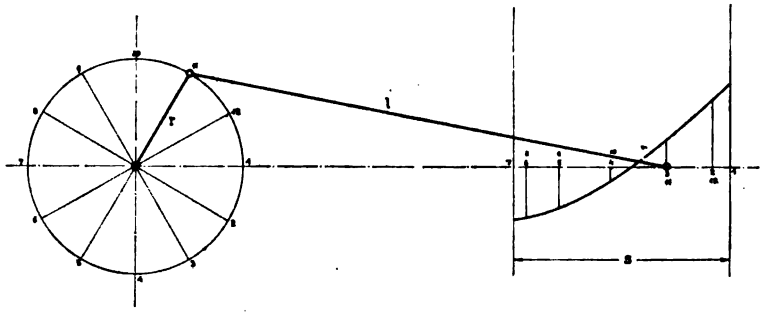


Fig. 75.

Dieser Gleichung entspricht die Kurve in Fig. 75. Sie ist gezeichnet mit $\lambda = \frac{1}{4{,}5}$, einem üblichen Mittelwert, in Abhängigkeit vom Kolbenwege. Um die Kurve, wie es für die späteren Vergleiche erforderlich ist, abhängig von der Zeit darzustellen, ist sie in Fig. 76 auf den abgewickelten Kurbelkreis bezogen. Der Massstab für die Ordinaten der Kurve, die ja ursprünglich nur die linearen Beschleunigungen darstellt, ist nach der gesamten schwingenden Masse des betrachteten Motors zu bestimmen.

Digitized by Google

Für die Betrachtungen und Vergleiche seien folgende Abmessungen zu Grunde gelegt:

Zylinderdurchmesser	100 mm
Hub	120 mm
Masse pro qcm Kolbenfläche	0,004
Tourenzahl n = ...	1100,

sodass sich als Maximalmassendruck in den Totlagen der Kurbel ergibt max $B_1 = 305$ kg und max $B_2 = 195$ kg, entsprechend einem mittleren Maximalmassendruck von max $B = 250$ kg.

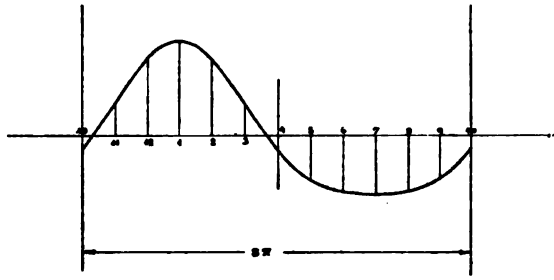


Fig. 76.

Diese Grössen sollen für jeden einzelnen Zylinder beibehalten werden, sodass also bei Mehrzylindermotoren auch eine der Zylinderzahl entsprechende Vergrösserung der Leistung zu berücksichtigen ist. Durch entsprechende Reduktion lässt sich dann das Resultat auf Motoren gleicher Leistung zurückführen. Dies ist in den Figuren durch eine besondere Linie geschehen.

Der Massenausgleich.

Um die überschiessenden Kräfte und Momente möglichst unschädlich zu machen, ist es erforderlich, einen Massenausgleich mit einfachen Mitteln herbeizuführen. Das Hauptmittel ist, wenigstens bei Mehrzylindermotoren, die Kurbelversetzung, die man in erster Linie in Rücksicht hierauf wählt. Als zweites Mittel kommt in Betracht das rotierende Gegengewicht, das an der Kurbelwelle anzubringen ist. Die Zentrifugalkraft dieser Gegengewichte dient dazu, die Wirkung einseitiger rotierender Kurbelgewichte und deren Momente aufzuheben und die nur schwingenden Massen nach Möglichkeit auszugleichen. Für diese nur in der senkrechten Ebene wirkenden Kräfte kann aber nur die senkrechte Komponente der Zentrifugalkräfte von den Gegengewichten benutzt werden, die horizontale Komponente bleibt als freie Kraft bestehen. Deshalb werden schwingende Massen nie vollständig auf diese Weise ausgeglichen, weil dann in der

Digitized by Google

Horizontalen Komponenten der Zentrifugalkräfte der rotierenden Gewichte entstehen würden, die ebenso gross wären, als die Wirkung der schwingenden Massen selbst. Man muss sich begnügen, einen Teil der schwingenden Massen auszugleichen, vielleicht die Hälfte, sodass dann gleich grosse freie Wirkungen in vertikaler und horizontaler Richtung übrig bleiben.

Die Zentrifugalmomente lediglich rotierender Massen werden natürlich stets durch entsprechende Gegengewichte ausgeglichen, die mit den Gegengewichten zum Ausgleich der schwingenden Massen vereinigt werden.

Es ergiebt sich somit, dass ein vollständiger Ausgleich nur dann erfolgen kann, wenn sich die Wirkungen der schwingenden Massen sowohl in bezug auf die Kräfte als auch auf die Momente unter sich ausgleichen. Ist das nicht der Fall, dann können die Hilfsgewichte nur eine andere Verteilung und eine Verminderung dieser Wirkungen herbeiführen, nie einen vollständigen Ausgleich. Wenn sie nur Momente ausgleichen sollen, wird man die Gegengewichte so anbringen, dass sie selbst nur Momente und nicht freie Kräfte liefern, d. h. man wird sie diametral anordnen; verlangt man von ihnen den Ausgleich von Kräften, dann müssen sie einseitig angebracht werden.

Betrachtung der einzelnen Motorarten.

I. Der Einzylindermotor.

Unter der Annahme, dass der Schwerpunkt im Schnittpunkt der Achse des Zylinders und der Kurbelwelle liegt, treten beim Ein-

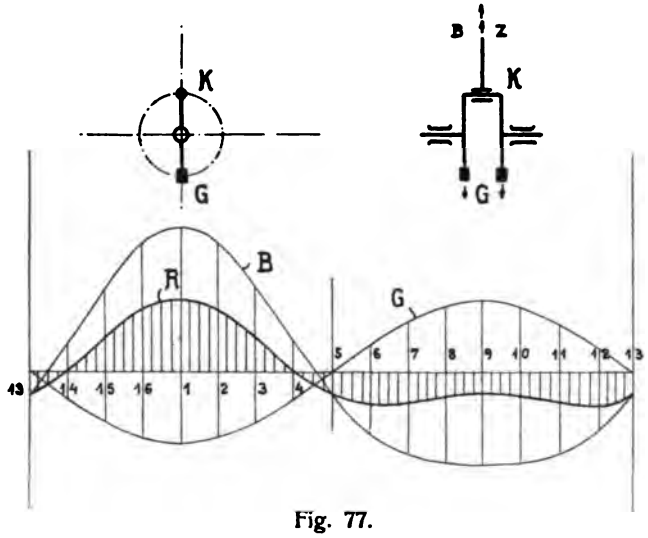


Fig. 77.

Digitized by Google

zylindermotor nur überschiessende Kräfte, nicht aber Momente auf. Der Kolben liefert eine vertikal schwingende Einzelkraft, die rotierenden Teile der Kurbel und der Schubstange eine Zentrifugalkraft. Die erste giebt auf den abgewickelten Kurbelkreis aufgetragen in Fig. 77 die Linie der Fig. 76; von der zweiten Kraft wäre in das Diagramm die Vertikalkomponente einzutragen, die eine reine Sinuslinie ergeben würde. Es ist dies nicht geschehen unter der Voraussetzung, dass durch einen Teil G_1 der beiden schematisch angedeuteten Gegengewichte G diese Zentrifugalkräfte vollständig ausgeglichen

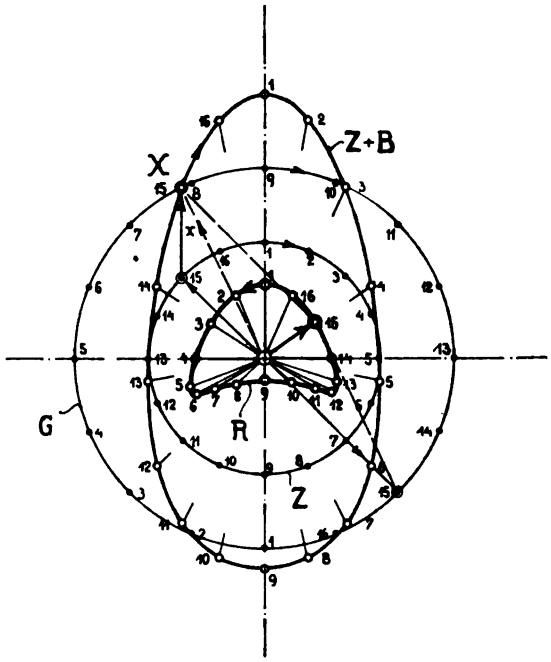


Fig. 78.

sind. Die Gewichte G_1 müssen daher ein gleiches statistisches Moment mit den rotierenden Teilen haben und sind symmetrisch zu beiden Seiten der Kurbel anzubringen, damit keine Zentrifugalmomente entstehen.

Die vertikalen Massenkräfte können nunmehr noch zu einem Teil ausgeglichen werden durch die Gegengewichte $G - G_1$, und zwar zweckmässig zur Hälfte, da dann, wie bereits erwähnt, die horizontalen und vertikalen freien Kräfte gleich gross werden. Die Gegengewichte $(G - G_1)$ liefern also eine Zentrifugalkraft, deren Wert gleich der Hälfte des mittleren Maximaldruckes der schwingenden

Digitized by Google

Massen ist. Von dieser Zentrifugalkraft sind in das erste Diagramm die Vertikalkomponenten einzutragen, sie ergeben eine Sinuslinie, die in ihrer Phase entgegengesetzt der Kurve B verläuft, entsprechend der Gegengewichtsversetzung um 180° gegen die Kurbel. Die Vereinigung der beiden Kurven in dem Vertikaldiagramm ergiebt den Verlauf der resultierenden Vertikalkraft R. Es besteht bei der gewählten Grösse des Ausgleichs ein grosses positives Maximum und zwei wesentlich kleinere negative Maxima.

In horizontaler Richtung bleiben die Komponenten der Zentrifugalkraft übrig, die eine Sinuslinie ergeben. Diese Aufzeichnung der horizontalen Kräfte und auch Momente ist bei allen Motorarten unterlassen, da sie keinen Beitrag zur Veranschaulichung liefern würde. Dagegen ist der Verlauf sämtlicher Kräfte in einem Polardiagramm (Fig. 78) zusammengestellt. Die Zentrifugalkräfte, die für sich durch einen Kreis dargestellt werden, sind mit den Komponenten der schwingenden Massen in folgender Weise vereinigt. Der Kreis Z stellt die Zentrifugalkraft der rotierenden Teile der Kurbelkröpfung und der Schubstange dar. Auf diesen Kreis sind ihrer Lage und Grösse nach die für jede Kurbelstellung gehörigen Vertikalkräfte der schwingenden Teile aufgetragen, z. B. für die Kurbelstellung 15 die Vertikalkraft x. Die Endpunkte der Kräfte ergeben dann die Eilinie (Z+B) in dem Polardiagramm. Man erhält damit Grösse und Richtung der freien Kräfte, die ohne Zufügung eines Gegengewichtes auftreten würden, und zwar als Polardiagramm, d. h. die Strahlen vom Pol nach dem Punkte X würden nach Grösse und Richtung die Resultierende der freien Kräfte für die Kurbelstellung 15 angeben. Die Richtung stimmt nicht mehr mit der Kurbelstellung überein, die Spitze der Resultierenden läuft auf der Eilinie mit verschiedener Geschwindigkeit; für einen bestimmten Punkt der Kurbel ergiebt sich die zugehörige Resultierende durch Vertikalprojektion auf die Z+B-Kurve. Die eingetragenen kleinen Kreise können als Zeitmarken dienen, von einer Marke bis zur nächsten braucht der Fahrstrahl der Resultierenden gleiche Zeiträume.

Diesen bisher aufgezeichneten Kräften sind nunmehr die Wirkungen des Gegengewichtes entgegenzusetzen. Das Gegengewicht gleicht nach den oben gemachten Annahmen die rotierenden Massen ganz aus, von den schwingenden Massen die Hälfte des Maximalwertes. Der Kreis G der Zentrifugalkraft des Gegengewichts muss also einen Radius erhalten gleich dem arithmetischen Mittel aus dem Maximalwert des Fahrstrahles der Z+B-Kurve und dem

Digitized by Google

Radius des Z-Kreises. Die zu den Kurbellagen (Kreis Z) gehörigen Stellungen des Gegengewichtes sind durch gleiche Ziffern gekennzeichnet.

Die Fahrstrahlen dieses Kreises sind mit den Fahrstrahlen der Z+B-Linie zusammen zu setzen, nach dem Parallelogramm der Kräfte. Es ergiebt sich die innere R-Kurve, z. B. für den Punkt 15 die Resultierende R_1. Die Fahrstrahlen R laufen entgegengesetzt der Kurbeldrehung, wie sich bei Betrachtung der Nachbarstellungen sofort ergiebt, die Geschwindigkeit, mit der der Strahl auf der Kurve läuft, ist verschieden. Auch hier ist durch Zeitmarken für das Auge ein Bild gegeben, mit welcher Geschwindigkeit der Strahl läuft. Über das vertikal nach oben gerichtete Maximum geht er ziemlich schnell hinweg, in dem unteren Teil der Kurve verweilt er längere Zeit.

Das Polardiagramm zeigt in übersichtlicher Weise die Wirkung der Massenkräfte bei einem stehenden Einzylindermotor. Es lässt auch erkennen, was eine weitere Vergrösserung des Gegengewichtes zur Folge hätte: die R-Linie würde mehr in die Breite gezogen, die Resultierende würde mehr und mehr in den wagerechten Stellungen links und rechts verharren. Die Massenkräfte wirken immer mehr in horizontaler, immer weniger in vertikaler Richtung. Die nach unten gerichteten Kräfte würden sehr bald ganz verschwinden. Der Vergleich der drei Maxima in der R-Kurve zeigt, dass sie beinahe gleich gross sind. Jedoch deutet die Häufung der Zeitmarken in der Nähe der seitlichen Maxima an, dass der Fahrstrahl R hier langsamer läuft; die seitlichen Impulse werden also wegen ihrer grösseren Dauer in den Schwingungen mehr fühlbar sein als die vertikalen. Es kann beinahe schon scheinen, dass der Ausgleich zu weit getrieben ist.

II. Der Zweizylindermotor.

Die meist übliche Kurbelversetzung bei Zweizylindermotoren von 180° wird mit Rücksicht auf den Massenausgleich gewählt. Man sucht die schwingenden Massen des einen Kurbeltriebes durch entgegengesetzt schwingende des zweiten auszugleichen. Dafür wird bei dieser Anordnung lieber ein ungleichförmiges Drehmoment in Kauf genommen, das nicht viel besser ist als beim Einzylinder. Die Explosionsperioden der beiden Zylinder folgen unmittelbar auf einander innerhalb einer Wellenumdrehung, während die ganze nächste Umdrehung ohne Impuls bleibt. Mit gleich gerichteten Kurbeln würde man die Viertaktperioden derart versetzen können, dass bei jeder Umdrehung eine Explosion erfolgt, indess hat man dann eben zwei gleichartig schwingende Triebwerkmassen, die nur unvoll-

Digitized by Google

kommen nach Art des Einzylinders ausbalanziert werden können. Diese Massenwirkungen sind aber schon recht bedeutend. Ausserdem treten speziell bei dem vollständig eingekapselten Automobilmotor noch andere Übelstände auf, die diese Anordnung als wenig vorteilhaft erscheinen lassen. Sie ist fast nur mit einem besonderen schwingenden Ausgleichsgewicht gebaut worden, wodurch aber wieder eine wesentliche Komplikation bedingt ist.

Der Massenausgleich ist bei um 180° versetzten Kurbeln noch recht schlecht, wie die folgende Untersuchung zeigt. Es wirken ausser den bereits beim Einzylindermotor dargestellten Kräften noch Momente, da die Triebwerke nicht in derselben Ebene liegen. Freie Kräfte der lediglich rotierenden Massen sind nicht vorhanden, da die beiden Kurbeln im Kurbelkreis diametral gegenüberstehen. Für die freien Kräfte kommen deshalb nur die schwingenden Massen in Frage.

In Fig. 79 ist das Diagramm dieser Kräfte wiedergegeben. Die bekannte Linie der Fig. 76 tritt zweimal auf, verschoben um eine halbe Umdrehung. Die beiden Kurven sind zu vereinigen, sie ergeben die Linie R, die als eine reine Sinuslinie erscheint. Bei einer Umdrehung treten vier Nullpunkte auf und vier Maxima, absolut genommen. Es sind dies die aus der endlichen Länge der Schubstange hervorgehenden Unterschiede in den Massendrücken, die um so kleiner werden, je mehr die Länge der Schubstange im Verhältnis zum Kurbelradius wächst. Die Linie R zeigt, dass die Schwingungszahl dieser Kräftewirkungen doppelt so gross ist als die Umdrehungszahl (Schwingungen zweiter Ordnung), d. h. sie würden bei den üblichen Tourenzahlen über 2000 in der Minute betragen. Für die Bildung von Resonanzschwingungen mit dem Wagengestell sind diese Wirkungen also nicht mehr gefährlich, da dessen Eigenschwingungen meist weit unter 1000 liegen.

Von bedeutend grösserem Einfluss erweisen sich aber die Momente. Jede der Massenkräfte der beiden Kurbeltriebe liefert hier einen Beitrag. In Fig. 79 ist dies dargestellt für alle in der vertikalen Ebene wirkenden Momente. Als Momentendrehpunkt ist die Mitte der Kurbelwelle angenommen (s. die schematische Darstellung), alle in diesem Bild rechtsdrehenden Momente sind als positiv aufgetragen worden. Die Momente der schwingenden Massen ergeben eine Sinuslinie, die Momente der Zentrifugalkräfte ebenfalls eine Sinuslinie, zufällig von beinahe derselben Grösse. Beide Linien sind zu einer Resultierenden zu vereinigen (ℜR), die auftreten würde, wenn keine Gegengewichte vorhanden sind. Man sieht, dass diese

Digitized by Google

ganz erhebliche Werte annimmt, und dass es daher notwendig ist, durch Gegengewichte Abhilfe zu schaffen. Die Gegengewichte sind hier nur zum Ausgleich der Momente nötig, sie können also in

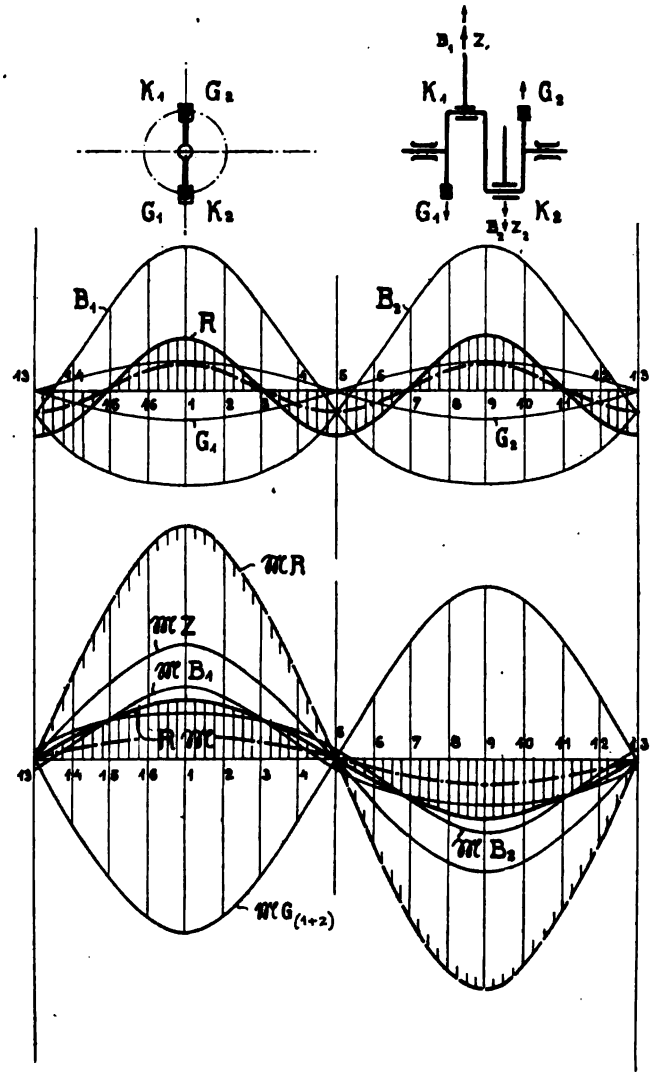


Fig. 79.

beliebiger Entfernung von einander angebracht werden, aber immer so, dass ihre Zentrifugalkräfte mit ihrem Abstand multipliziert die Wirkung der Momente der schwingenden und rotierenden Massen aufheben, und dass sie selbst keine freien Kräfte liefern. Sie müssen

Digitized by Google

also ebenfalls diametral angebracht werden. Je grösser ihr Abstand ist, desto leichter können sie sein. Als bester Platz ergiebt sich in der Regel die Verlängerung der äusseren Kurbelarme (s. die schematische Darstellung). Die Grösse des ausgleichenden Momentes ist ähnlich, wie beim Einzylinder so zu bestimmen, dass gleich grosse Momente in jeder Richtung übrig bleiben. Denn auch hier würde ein vollständiger Ausgleich der vertikalen Momente einen ebensogrossen Überschuss der horizontalen Momente ergeben, so dass praktisch kein Vorteil herauskäme. Die Gegengewichte sind also so zu bestimmen, dass die Momente der rotierenden Massen vollständig,

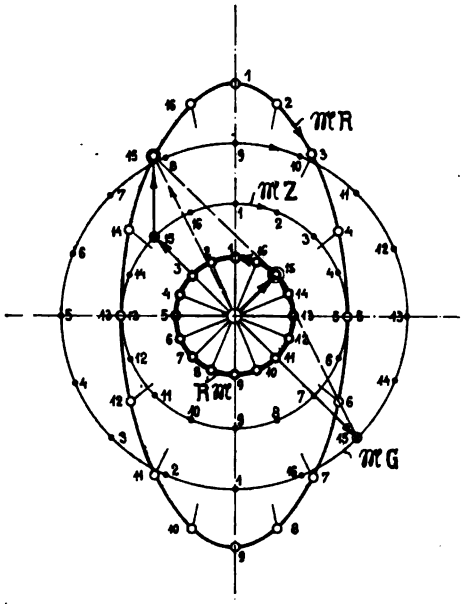


Fig. 80.

die der schwingenden Massen zur Hälfte ausgeglichen werden. Das erforderliche Moment ist in der Figur in der Linie ($\mathfrak{M}G_{1+2}$) wiedergegeben.

Das anschauliche Bild für die betrachteten Vorgänge liefert wiederum ein Polardiagramm, das für die Momente in Fig. 80 entworfen ist. Momente, durch Zentrifugalkräfte hervorgerufen, sind hier Kreise, denn sie bleiben konstant, ändern nur ihre Ebene; Momente, die durch schwingende Massen hervorgerufen sind, würden als gerade (Mittel-) Linien erscheinen. Um sie ihrem Verlauf nach sichtbar zu machen, sind sie hier mit den gleichzeitig auf-

Digitized by Google

tretenden Momenten der Zentrifugalkräfte zusammengesetzt, ähnlich wie in Fig. 78. Der Kreis (MZ) giebt die Grösse des Momentes beider rotierenden Massen an, auf dem in jedem Punkte das gleichzeitig auftretende Moment der schwingenden Massen senkrecht aufgetragen ist. Es entsteht die Ellipse (MR) eine ganz symmetrische Kurve, da die Summe der Momente der schwingenden Kräfte bereits eine Sinuslinie ergiebt. Der Fahrstrahl der resultierenden Momente läuft mit verschiedener Winkelgeschwindigkeit, die kleinen Kreise auf der MR-Kurve geben als Zeitmarken wieder eine Erinnerung an den Wechsel der Geschwindigkeit.

Die Momente der Gegengewichte werden wieder durch einen Kreis dargestellt, dessen Radius so zu wählen ist, dass die rotierenden Momente ganz, die der schwingenden Massen zur Hälfte ausgeglichen werden. Dies ergiebt den Kreis MG, der durch die Mitte der Strecke 1—1 gehen muss. Werden jetzt die gleichzeitig auftretenden Momente jeder Kurbelstellung geometrisch vereinigt, wie es z. B. mit Punkt 15 ausgeführt ist, dann ergeben sich als übrigbleibende Momente die des mittleren kleinen Kreises (RM). Der Vergleich der einzelnen Stellungen zeigt sofort, dass das resultierende Moment RM in einem der Kurbel entgegengesetzten Drehsinn rotiert. Zusammengehörige Punkte sind durch gleiche Zahlen zugeordnet. Die Geschwindigkeit der Resultierenden ist konstant.

Die gewählte Grösse des Ausgleiches giebt also den gewünschten Fall, dass nach allen Richtungen gleich grosse Momente übrig bleiben, dass also ein Moment von konstanter Grösse mit konstanter Geschwindigkeit um die Motorachse rotiert. Eine Vergrösserung oder Verkleinerung der Gegengewichte würde den Kreis in eine Ellipse verwandeln, deren grosse Achse wagerecht bezw. senkrecht liegen würde.

Das Gesamtresultat der Untersuchung zeigt, dass beim Zweizylindermotor selbst beim bestmöglichen Massenausgleich sowohl freie Kräfte als auch freie Momente übrig bleiben. Die freien Kräfte haben eine hohe Schwingungszahl und sind von mittlerer Grösse. Die Momente haben gleiche Schwingungszeit mit den Kurbeldrehungen, bleiben konstant und ändern nur ihre Ebene. Die Summe der Wirkungen, Kräfte und Momente, ergeben natürlich immer noch fühlbare Erschütterungen, die ein erhebliches Zittern der Maschine zur Folge haben können.

III. Der Dreizylindermotor.

Die normale Ausführung eines Motors mit drei Triebwerken

Digitized by Google

ist aus der schematischen Darstellung in Fig. 81 zu ersehen. Die Kurbeln sind um 120° versetzt. Das hierbei auftretende Drehmoment

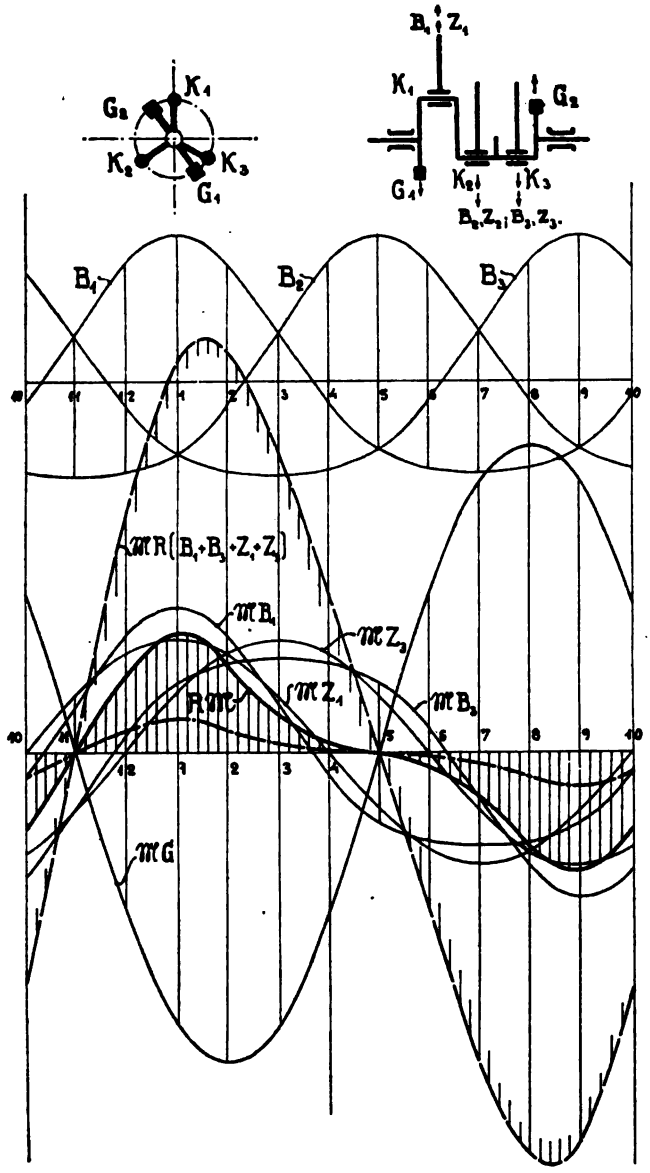


Fig. 81.

ist sehr gleichmässig, die Explosionen erfolgen in gleichen Abständen innerhalb zweier Umdrehungen drei mal.

Digitized by Google

Auch der Massenausgleich ist besser als beim Zweizylindermotor, wenigstens soweit die freien Kräfte in Frage kommen. Das Diagramm der Vertikalkräfte zeigt die drei Kurven der einzelnen Triebwerke um je 120° versetzt, ihre Summe ist ständig gleich Null, d. h. die Kräfte gleichen sich vollständig aus. Das gleiche ist der Fall mit den Zentrifugalkräften der rotierenden Massen, die sich bei ihrer konstanten Grösse und ihrer gegenseitigen Lage ebenfalls ständig das Gleichgewicht halten. In das Achsialdiagramm sind die Zentrifugalkräfte nicht mit aufgenommen.

Anders steht es mit den Momenten. Der Schwerpunkt sowie der Momentennullpunkt liegen in der Ebene des mittleren Triebwerkes, für die Momentenbildung kommen also nur die beiden äusseren Zylinder in Betracht. Die schwingenden und die rotierenden Massen ergeben Beiträge, die entsprechend ihrem gleichen Sinn in der Zusammenstellung aufgetragen sind. Die Summe aller vier Beiträge ergiebt eine einzige grosse Schwingung $\mathfrak{M}R\,(B_1 + B_3 + Z_1 + Z_3)$ die eine beinahe ungeahnte Amplitude erreicht. Die Kurve ist keine Sinuskurve mehr, sondern komplizierterer Art.

Auch hier ist eine Abschwächung der bedeutenden Momentenwirkungen durch Gegengewichte nötig. Es fragt sich. wie gross und in welcher Lage sie anzubringen sind. Sollen keine freien Kräfte entstehen, müssen sie diametral angeordnet werden. Sie ergeben dann eine einfache Sinuskurve in dem Achsialdiagramm, die mit der $\mathfrak{M}R\,(B_1 + B_3 + Z_1 + Z_3)$-Kurve zu vereinigen wäre. Die Lage der Gegengewichte zu den Kurbeln wäre so zu bestimmen, dass die Nullpunkte der Sinuslinie mit den Nullpunkten der resultierenden freien Momente zusammenfallen, was ja möglich ist, da diese um 180° auseinander liegen. Allerdings liegen dann die Maximalordinaten nicht mehr gegenüber. Man könnte dadurch, dass man die Gegengewichte nicht um 180° gegenüberstellt, auch eine Gegenmomentenlinie erzielen, die sich der Form der überschiessenden Momente etwas mehr nähert. Die Form der resultierenden R$\mathfrak{M}$-Linie würde dadurch wohl etwas gleichmässiger werden, indess treten dann wieder freie Massenkräfte auf. Die Grösse der Gegengewichte muss auch hier so beschaffen sein, dass die Momente der rotierenden Teile vollständig, die der schwingenden etwa zur Hälfte ausgeglichen werden, sodass schliesslich in horizontaler und vertikaler Richtung gleich grosse freie Wirkungen übrig bleiben.

Die Gegengewichtslinie ist nach diesen Erwägungen in dem Diagramm als $\mathfrak{M}G$-Linie eingetragen. Vereinigt mit den überschiessenden Momenten ergiebt sich die eigenartig geformte R$\mathfrak{M}$

Digitized by Google

Linie, die also die schliesslich übrig bleibenden Vertikalmomente darstellt.

Um die Verhältnisse näher zu beleuchten, ist auch hier das Polardiagramm entworfen. (Fig. 82). Der Kreis $\mathfrak{M}Z_1 = \mathfrak{M}Z_3$ stellt die Grösse des Momentes der Zentrifugalkräfte einer Kurbel dar. Für

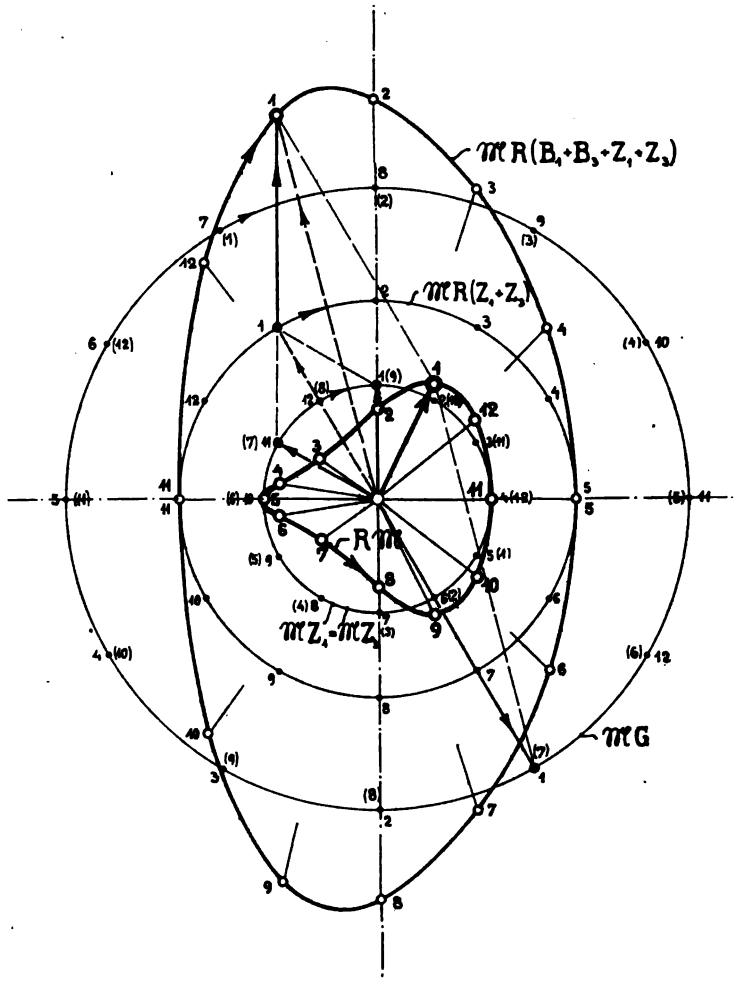


Fig. 82.

jeden Zeitpunkt sind zwei verschieden gerichtete Momente zu berücksichtigen, die zunächst geometrisch zu vereinigen sind. Da Relativwinkel und Grösse dieser beiden Momente konstant sind, ergiebt sich in dem Diagramm ein neuer Kreis $\mathfrak{M}R(Z_1+Z_3)$, der die Summe der durch die rotierenden Massen erzeugten Momente dar-

Digitized by Google

stellt. Die Lage der Resultierenden für eine bestimmte Kurbelstellung ist besonders zu bestimmen. Als Ausgangskurbelstellung sei immer die des ersten Triebwerkes genommen. Die Ziffern sind dem entsprechend an dem Kreise angebracht, die eingeklammterten Ziffern entsprechen der gleichzeitigen Stellung der Kurbel des dritten Triebwerkes. Für die Resultierende gelten dann die Ziffern auf dem Kreise $\mathfrak{M}R\ (Z_1+Z_3)$. (Es ist zu beachten, dass das Moment der Kurbel 3 auch positiv ist, wenn sich die erste Kurbel im Punkte 1 befindet).

Die Momente der schwingenden Massen sind nun aus dem Achsialdiagramm an den Kreis $\mathfrak{M}R\ (Z_1+Z_3)$ anzutragen. Es ergiebt sich hieraus die grosse ovale Kurve $\mathfrak{M}R\ (B_1+B_3+Z_1+Z_3)$, die das Polardiagramm der überschiessenden Momente für den Motor darstellt. Die augenblickliche Richtung bei einer bestimmten Kurbelstellung giebt die Nummerierung, die Zeitmarken ergeben die Geschwindigkeit, mit der der Fahrstrahl läuft. Die zweckmässige Grösse der Gegengewichte ist hier nicht so leicht abzulesen, wie bei den anderen Diagrammen, da die Maxima verschoben sind. Es ist in Übereinstimmung mit dem achsialen Diagramm der Kreis $\mathfrak{M}G$ gewählt. Die Lage der Gegengewichte ergab sich aus dem achsialen Diagramm als günstig, wenn sie rechtwinklig zur mittleren Kurbel angenommen wurden. Die ganze Anordnung ist dann symmetrisch. Im Polardiagramm ergiebt sich somit auf Kreis $\mathfrak{M}G$ die eingeschriebene Nummerierung. Werden nunmehr die einer Kurbelstellung entsprechenden Momente geometrisch addiert, dann ergiebt sich die im Innern befindliche herzförmige Kurve für die resultierenden Momente $R\mathfrak{M}$. Auch hier läuft der Fahrstrahl entgegengesetzt der Kurbeldrehung, mit verschiedener Geschwindigkeit, die durch die Zeitmarken angedeutet wird. Es ergiebt sich, dass die Grösse der Gegengewichte annähernd richtig ist, die vertikalen und horizontalen Maxima sind ungefähr gleich. Die Kurve stellt sämtliche Massenwirkungen des Motors dar; im Vergleich zum Zweizylindermotor erscheinen zwar die Momentenordinaten grösser, doch ist erstens die um die Hälfte grössere Leistung des Motors zu berücksichtigen, zweitens aber sind freie Kräfte überhaupt nicht vorhanden.

IV. Der Vierzylindermotor.

Die Verwendung von vier Zylindern bringt zum ersten Male die Möglichkeit, durch symmetrische Anordnung einseitige Wirkungen aufzuheben. Die Kurbelanordnung bei vier Zylindern ist derart zu wählen, dass die schwingenden Massen sich soweit wie möglich gegenseitig ausgleichen, und dass Momente durch vollständig

Digitized by Google

symmetrische Anordnung vermieden werden. Je zwei Triebwerke müssen entgegengesetzt schwingen, also um 180° versetzt sein, wie beim zweizylindrigen Motor; die dort auftretenden Momente sind durch

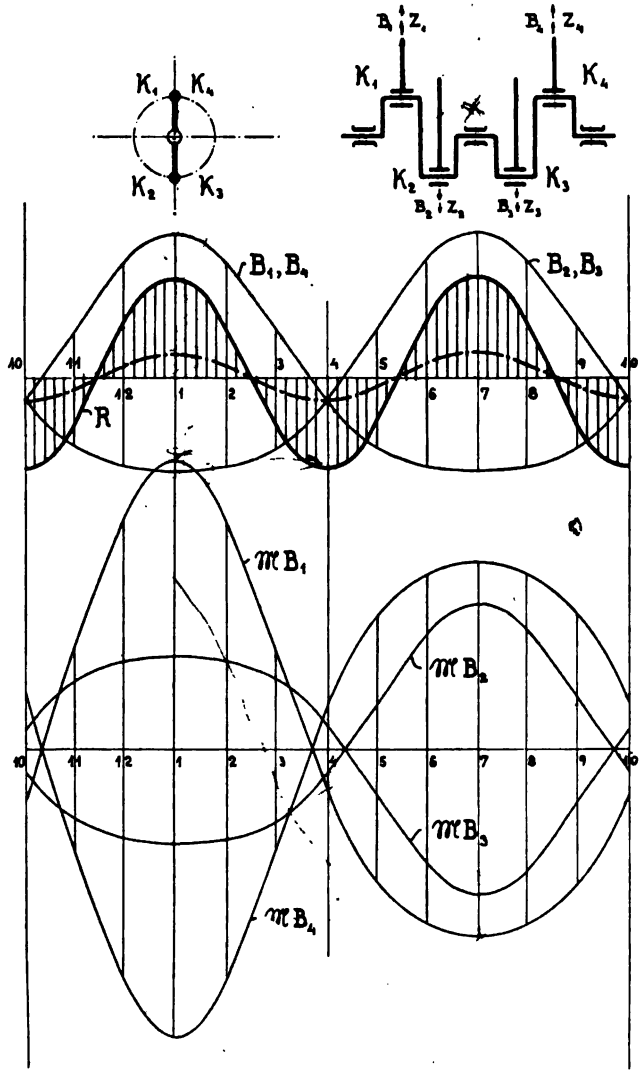


Fig. 83.

Wiederholung von gleich grossen, aber entgegengesetzt gerichteten aufzuheben. Es ergiebt sich somit die schematische Darstellung der Fig. 83.

Im Diagramm der Vertikalkräfte liegen die Kurven je zweier

Digitized by Google

Zylinder übereinander, da deren Kurbeln gleichgerichtet sind, nämlich des 1. und 4. einerseits, und des 2. und 3. andrerseits. Die Resultierende der freien Kräfte erscheint demnach in doppelter Grösse; in Bezug auf die Leistung hat sie denselben Wert wie beim Zweizylinder-

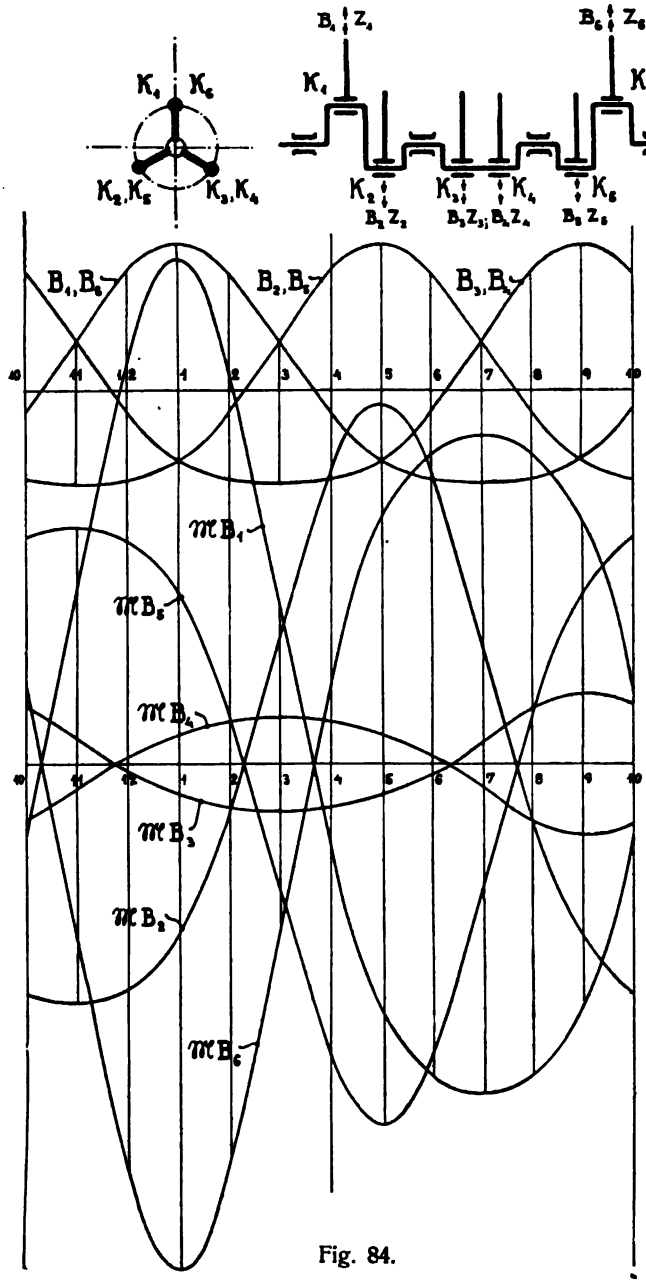


Fig. 84.

Digitized by Google

motor. Die Schwingungszahl ist ebenfalls doppelt so gross als die Umdrehungszahl, die Erschütterungen sind für die Resonanz nicht sehr gefährlich.

Die Auftragung der Momentenlinien zeigt das erwartete symmetrische Bild, die Momente ergeben ständig Null. Damit sind die dynamischen Wirkungen für den Vierzylindermotor erledigt, die Anbringung von Gegengewichten erübrigt sich, da die freien Kräfte sehr gering sind.

V. Der Sechszylindermotor.

Die Verdoppelung eines Dreizylindermotors ergiebt den vollständigen Massenausgleich. Beim Dreizylindermotor waren die schwingenden Massen bereits vollständig ausgeglichen, nur noch Momente übrig. Wird der Sechszylindermotor ausgeführt als doppelter Dreizylinder, aber mit symmetrischer Anordnung, dann können neue freie Kräfte nicht auftreten, da diese in jeder Gruppe von drei Zylindern aufgehoben sind, und die Momente gleichen sich jetzt aus in derselben Weise wie beim Vierzylinder. Es wäre daher gar nicht nötig, besondere Diagramme hierfür zu geben, doch sind sie zur Vollständigkeit noch hinzugefügt. Sie zeigen die Grösse und den Verlauf der einzelnen Beiträge, ihre Summe ist ständig Null. (Fig. 84.)

Betrachtet man die Ergebnisse noch einmal im Zusammenhang, so zeigt sich, dass mit der Vermehrung der Zylinder eine schrittweise Verbesserung des Massenausgleiches verbunden ist. Beim Dreizylinder verschwinden zuerst die freien Kräfte, beim Vierzylinder die freien Momente, beim Sechszylinder endlich beide. Die Grösse der resultierenden Kurve in den verschiedenen Diagrammen ist trotz Vermehrung der Zylinder und der Leistung fast überall gleich. Auf die Leistung bezogen ist deshalb eine steigende Abnahme der störenden Wirkungen vorhanden, ausser dem allmähligen Verschwinden der einzelnen Arten. Unter der an anderer Stelle gemachten Voraussetzung, dass die Massenkräfte bei Vergrösserung der Motoren proportional der Leistung N wachsen, während die Momente nach der Gleichung $\mathfrak{M} = c.N^{3/2}$ zunehmen, ist in die Diagramme noch die Linie für die störenden Wirkungen bei Motoren von gleicher Leistung eingetragen; es ist dies die strich-punktierte Kurve. Sie zeigt deutlich den günstigen Einfluss der Zylindervermehrung.

Hinsichtlich der Wahl der Gegengewichte kann als allgemeine Regel festgehalten werden, dass die rotierenden Massen vollständig, die maximalen Wirkungen der schwingenden Massen zur Hälfte auszugleichen sind.

Digitized by Google

M. KRAYN, Verlagsbuchhandlung, BERLIN W. 57.

Soeben erschien:

Automobiltechnische Bibliothek Bd. II

DER AUTOMOBILZUG

Eine Studie über die allgemeinen Grundlagen der Automobilzug-Systeme : : : : :

durchgeführt an dem Beispiel des

Train-Renard

von

W. A. Th. Müller,

Oberingenieur der Siemens-Schuckert Werke, Berlin.

Mit 34 Abbildungen im Text und auf Tafeln.

Erweiterter Sonderabdruck einer Artikel-Serie aus der Zeitschrift „Der Motorwagen."

KURZE INHALTSÜBERSICHT.

I. **Bericht über die Vorführung des Train-Renard in Berlin.**
II. **Die Literatur über den Train-Renard.**
III. **Untersuchungen über die Senkeinrichtung des Train-Renard.**
IV. **Untersuchungen über die Antriebseinrichtung des Train-Renard.**
V. **Über den Einfluss der Antriebseinrichtung auf die Lenkung des Zuges.**
VI. **Betrachtungen über das Automobilzug-Problem im Allgemeinen.**

In Vorbereitung befinden sich:

Dipl.-Ingenieur Heinrich Dechamps: **Automobil-Vergaser.**

Rumpler u. Bauschlicher, Ingenieure: **Automobil-Chassis.**

Unter dem Titel „Automobiltechnische Bibliothek" wird eine Reihe hervorragender Werke erscheinen, welche die gesamte **Automobiltechnik in Einzeldarstellungen wissenschaftlich** behandelt. Jeder Band ist für sich abgeschlossen. Zu Mitarbeitern wurden bereits die bekanntesten und hervorragendsten Fachschriftsteller gewonnen.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung und den Verlag.

Digitized by Google

M. KRAYN, Verlagsbuchhandlung, BERLIN W. 57.

Ferner erscheint in meinem Verlage:

Automobiltechnischer Kalender

und

Handbuch der Automobilindustrie

für 1907.

Vierte neu bearbeitete Auflage. **Gebunden 3,50 Mark.**

650 Seiten Text mit über 590 Illustrationen.

Kurze Inhalts-Übersicht:

Tafeln einiger öfters vorkommender Zahlenwerte
Konstruktion der wichtigsten Kurven
Mechanik
Mechanik und allgemeine Maschinenlehre
Die Zahnradmechanismen für Kettenwagen
Übersetzungsgetriebe für Cardanwagen
Hinterradachsen für Kettenwagen
Hinterradachsen für Cardanwagen
Reibungskupplungen
Lenkung der Motorwagen
Steuersäulen
Lenkachsen
Bereifung der Räder
Federung der Motorwagen
Automobilbremsen
Untergestelle
Allgemeine Berechnung der Motorwagen
Explosionsmotoren
Die Konstruktion des Explosionsmotors
Die Armaturen und Zubehörteile des Explosionsmotors
Karburatoren
Die elektrische Zündung
Die Kühlwagen und ihre Anordnung
Schmierapparate
Schalldämpfer
Motorwagenkonstruktionen
Einteilung der Motorwagen nach Konstruktion
Einteilung der Wagen nach dem Verwendungszweck
Die leichten billigen Wagen
Die Tourenwagen und Droschken
Die Rennwagen
Die Lieferungswagen
Die Lastwagen und Omnibusse
Spezialwagen
Motorräder
Die kleinen luftgekühlten Motoren
Motorzweiräder
Motordreiräder
Die Werkzeuge und das Zubehör des Motorwagens
Allgemeine Berechnung des Motorbootes
Motorboote
Elektromobil
a) Einleitung
b) Physikalische Grundbegriffe
c) Elektrizitätslehre
d) Elektromagnetismus
Die Akkumulatoren für Motorwagen
Elektrische Motorwagen
Gemischte Systeme
Dampfwagen
I. Tabellen aus der Wärmelehre
II. Personenwagen mit Dampfbetrieb
III. Dampf-Lastwagen und Dampf-Omnibusse
Betriebsstörungen
Polizei-Verordnungen für den Verkehr mit Kraftfahrzeugen speziell für Berlin, Charlottenburg, Schöneberg u. Rixdorf
Sicherheitspolizeiliche Bestimmungen für den Betrieb von Automobilen und Motorrädern in Österreich

Dieser Kalender ist das anerkannt beste Hand- und Jahrbuch der Automobilindustrie.

Ausführlicher Prospekt gratis.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung und durch den Verlag.

Digitized by Google

M. KRAYN, Verlagsbuchhandlung, BERLIN W. 57.

In meinem Verlage erscheint:

Zeitschrift für Automobil-Industrie u. Motorenbau

Organ der Automobiltechnischen Gesellschaft

1907. — X Jahrgang

Aeltestes deutsches Fachorgan der Automobil-Industrie

Redaktion: Civilingenieur Robert Conrad

Preis pro Quartal Mark 3.—, pro Jahr Mark 12.—
—— für das Ausland pro Jahr Mark 22.80 ——

Probenummern gratis

Abonnements durch alle Buchhandlungen, durch die Post und den Verlag.

Die Jahrgänge des **„Motorwagen" 1898—1906** sind noch in einigen Exemplaren vorrätig.

Preis pro Jahrgang Mk. 12.—

1898—1903 in Leinwand gebunden . . . je Mk. **14.—**
1904—1906 in 2 Bänden „ . . . „ „ **16.—**

Digitized by Google

M. KRAYN, Verlagsbuchhandlung, BERLIN W. 57.

In meinem Verlage erscheint:

DIE TURBINE

ZEITSCHRIFT FÜR MODERNEN SCHNELLBETRIEB, FÜR DAMPF-, GAS-, WIND- & WASSERTURBINEN

ORGAN DER
TURBINENTECHNISCHEN GESELLSCHAFT

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE
DER TURBINENTECHNISCHEN GE-
SELLSCHAFT VON RUDOLF MEWES

Erscheint monatlich 2 mal

Preis vierteljährlich Mk. 3.—, Einzelhefte Mk. 1.—
für das Ausland pro Jahr Mk. 15.60

Bestellungen durch alle Buchhandlungen, Postanstalten und den Verlag.

Probenummern gratis durch den Verlag.

HAUPT-ANNAHMESTELLEN
FÜR ABONNEMENTS BEIDER ZEITSCHRIFTEN IM AUSLANDE:

ST. PETERSBURG: K. L. Ricker, Newsky-Prospekt 14.
RIGA: N. Kymmel, Buchhandlung.
KOPENHAGEN: Georg Chr. Ursin's Nachfolger.
WIEN: Lehmann & Wentzel, I, Kärntnerstr. 30.
PARIS: Haar & Steinert, 21 Rue Jakob.
CHRISTIANIA: Cammermeyers Boghandel, Carl Johans Gade 41 und 43.
NEW YORK: G. E. Stechert & Co., 129—133 W. 20th Str.
ZÜRICH: C.M. Ebell's Buchh., Ob. Bahnhofstr. 14.
MAILAND: H. O. Sperling, Via Carlo Alberto 27.

Digitized by Google

Digitized by Google